

POWERED BY **Dialog**

---

**REFLECTION TYPE OPTICAL SYSTEM AND IMAGE PICKUP DEVICE USING THE SYSTEM****Publication Number:** 08-292371 (JP 8292371 A) , November 05, 1996**Inventors:**

- KIMURA KENICHI
- TANAKA TSUNEFUMI
- ARAKI KEISUKE
- SEKIDA MAKOTO
- NANBA NORIHIRO
- SARUWATARI HIROSHI
- AKIYAMA KENJI

**Applicants**

- CANON INC (A Japanese Company or Corporation), JP (Japan)

**Application Number:** 07-123238 (JP 95123238) , April 24, 1995**International Class (IPC Edition 6):**

- G02B-017/00
- G02B-013/18
- G02B-017/08

**JAPIO Class:**

- 29.2 (PRECISION INSTRUMENTS--- Optical Equipment)

**JAPIO Keywords:**

- R002 (LASERS)

**Abstract:**

**PURPOSE:** To provide a reflection type optical system and image pickup device using the system for which the arrangement accuracy of a reflection mirror frequently required for a mirror optical system is relaxed while miniaturizing the entire mirror optical system.

**CONSTITUTION:** Concerning this reflection type optical system, light flux from an object is made incident on an incident plane R2 and reflected on one of reflecting planes at least, first-order image formation is performed within an optical element 10, and an image is formed on a prescribed plane by emitting light from an emitting plane R7 through remaining reflecting planes R4-R6 later while using the optical element 10 for which the incident plane R2 for light, emitting plane R7 and three reflecting planes of inner surface reflection composed of curved surfaces are provided at least on the surface of a transparent object. In such a case, the respective elements are set so that more than 70% of the

length of a reference axis in the optical element 10 can exist within one plane.

JAPIO

© 2003 Japan Patent Information Organization. All rights reserved.

Dialog® File Number 347 Accession Number 5336871

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-292371

(43) 公開日 平成8年(1996)11月5日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B	17/00		G 0 2 B 17/00	A
	13/18		13/18	
	17/08		17/08	A

審査請求 未請求 請求項の数41 F D (全 39 頁)

(21) 出願番号	特願平7-123238	(71) 出願人	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(22) 出願日	平成7年(1995)4月24日	(72) 発明者	木村 研一 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ ノン株式会社内
		(72) 発明者	田中 常文 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ ノン株式会社内
		(72) 発明者	荒木 敬介 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ ノン株式会社内
		(74) 代理人	弁理士 高梨 幸雄

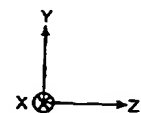
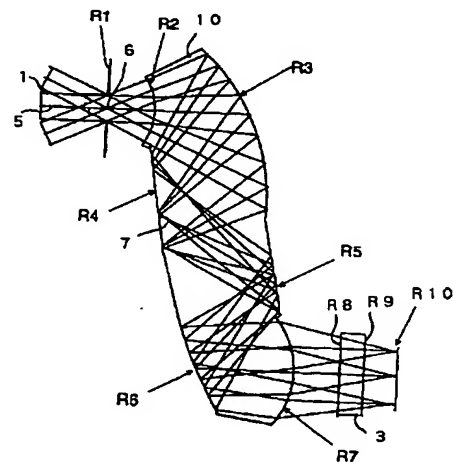
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 反射型の光学系及びそれを用いた撮像装置

(57) 【要約】

【目的】 ミラー光学系全体の小型化を図りつつ、又ミラー光学系にありがちな反射ミラーの配置精度を緩やかにした反射型の光学系及びそれを用いた撮像装置を得ること。

【構成】 透明体の表面に光の入射面と射出面、そして曲面より成る内面反射の反射面を少なくとも3つ設けた光学素子を用いて、物体からの光束を該入射面で入射させた後に該反射面の少なくとも1つで反射させて該光学素子内で1次結像させた後に、残りの反射面を介して該射出面より射出させて所定面上に物体像を形成する際、該光学素子の中の基準軸の長さの70%以上が1つの平面内にあるように各要素を設定したことを特徴とする反射型の光学系。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 透明体の表面に光の入射面と射出面、そして曲面より成る内面反射の反射面を少なくとも 3 つ設けた光学素子を用いて、物体からの光束を該入射面で入射させた後に該反射面の少なくとも 1 つで反射させて該光学素子内で 1 次結像させた後に、残りの反射面を介して該射出面より射出させて所定面上に物体像を形成する際、

該光学素子の中の基準軸の長さの 70% 以上が 1 つの平面内にあるように各要素を設定したことを特徴とする反射型の光学系。

【請求項 2】 前記光学素子の入射面近傍に絞りを設けたことを特徴とする請求項 1 の反射型の光学系。

【請求項 3】 前記光学素子の物体側から数えて第 1 の曲面の反射面が収斂作用を有することを特徴とする請求項 2 の反射型の光学系。

【請求項 4】 前記第 1 の曲面の反射面が回転楕円面で構成されていることを特徴とする請求項 3 の反射型の光学系。

【請求項 5】 前記第 1 の曲面の反射面の形状は、該反射面のローカル座標系  $x, y, z$  を用い、該反射面のベース面の形状を表す係数を  $a, b, t$  として、

$$A = (a+b) \cdot (y^2 \cdot \cos^2 t + x^2)$$

$$B = 2a \cdot b \cdot \cos t [1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (2a \cdot b)\} + \{1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (a \cdot b)\} - \{y^2 / (a \cdot b)\} - \{4a \cdot b \cdot \cos^2 t + (a+b)^2 \sin^2 t\} x^2 / (4a^2 b^2 \cos^2 t)\}^{1/2}]$$

において

$$z = A/B + C_0 y^2 + C_1 x^2 + C_2 y^4 + C_3 x^2 y + C_4 y^4 + C_5 x^2 y^2 + C_6 x^4$$

と表したとき、

該反射面の基準軸に対する面の傾きを  $\theta$ 、基準軸に沿って測った前記絞りの中心と該反射面の距離を  $d$  とする時、

$$a \cdot b > 0$$

$$0.9 < t/|\theta| < 1.5$$

$$0.9 < a/d < 2.0$$

$$0.9 < b/d < 2.0$$

を満足することを特徴とする請求項 4 の反射型の光学系。

【請求項 6】 前記反射型の光学系の入射瞳が前記光学素子の物体側より数えて第 1 の反射面より物体側に位置するように各要素を設定したことを特徴とする請求項 1 の反射型の光学系。

【請求項 7】 前記光学素子は入射する基準軸と射出する基準軸が平行で且つ同方向を向いていることを特徴とする請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載の反射型の光学系。

【請求項 8】 前記光学素子は入射する基準軸と射出する基準軸の方向が平行で且つ反対方向を向いていることを特徴とする請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載の反射

型の光学系。

【請求項 9】 前記光学素子は、入射する基準軸と射出する基準軸の方向が直交していることを特徴とする請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載の反射型の光学系。

【請求項 10】 前記光学素子を構成する曲面より成る反射面はすべて対称面を 1 つだけ有する形状であることを特徴とする請求項 1 ～ 9 のいずれか 1 項に記載の反射型の光学系。

【請求項 11】 前記入射面と射出面は屈折力を有していることを特徴とする請求項 1 ～ 10 のいずれか 1 項に記載の反射型の光学系。

【請求項 12】 前記入射面は正の屈折力を有することを特徴とする請求項 1 ～ 10 のいずれか 1 項に記載の反射型の光学系。

【請求項 13】 前記入射面は負の屈折力を有し、前記射出面は正の屈折力を有していることを特徴とする請求項 1 ～ 10 のいずれか 1 項に記載の反射型の光学系。

【請求項 14】 前記入射面と射出面はいずれも負の屈折力を有していることを特徴とする請求項 1 ～ 10 のいずれか 1 項に記載の反射型の光学系。

【請求項 15】 前記入射面と射出面はいずれも正の屈折力を有していることを特徴とする請求項 1 ～ 10 のいずれか 1 項に記載の反射型の光学系。

【請求項 16】 前記入射面は正の屈折力を有し、前記射出面は負の屈折力を有していることを特徴とする請求項 1 ～ 10 のいずれか 1 項に記載の反射型の光学系。

【請求項 17】 前記入射面と射出面は基準軸に対して回転対称な形状であること事の特徴とする請求項 12 ～ 16 のいずれか 1 項に記載の反射型の光学系。

【請求項 18】 前記光学素子は、射出する基準軸に平行に移動してフォーカシングすることを特徴とする請求項 1 ～ 17 のいずれか 1 項に記載の反射型の光学系。

【請求項 19】 前記光学素子の基準軸はすべて 1 つの平面上にあることを特徴とする請求項 1 ～ 18 のいずれか 1 項に記載の反射型の光学系。

【請求項 20】 前記光学素子は、基準軸と反射面の交点における該反射面の法線が、該光学素子の基準軸の 70% 以上が存在する平面に対して傾いている反射面を有していることを特徴とする請求項 1 ～ 18 のいずれか 1 項に記載の反射型の光学系。

【請求項 21】 表面反射の曲面より成る反射面を少なくとも 3 つ、基準軸が 1 つの平面上に位置し、且つ互いに対向するように一体的に形成した光学素子を用いて、物体からの光束を該 3 つの反射面のうち少なくとも 1 つで反射させた後に物体像を結像させ、更に残りの反射面で再び該物体像を所定面上に縮小して結像することを特徴とする反射型の光学系。

【請求項 22】 前記光学素子の物体側に絞りを設けたことを特徴とする請求項 21 の反射型の光学系。

【請求項 23】 前記光学素子の物体側から数えて第 1

の曲面の反射面が収斂作用を有することを特徴とする請求項 2 2 の反射型の光学系。

【請求項 2 4】 前記第 1 の曲面の反射面が回転楕円面で構成されていることを特徴とする請求項 2 3 の反射型の光学系。

【請求項 2 5】 前記第 1 の曲面の反射面の形状は、該反射面のローカル座標系  $x y z$  を用い、該反射面のベース面の形状を表す係数を  $a, b, t$  として、

$$A = (a+b) \cdot (y^2 \cdot \cos^2 t + x^2) \\ B = 2a \cdot b \cdot \cos t [1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (2a \cdot b)\} + \{1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (a \cdot b)\} - \{y^2 / (a \cdot b)\} - \{4a \cdot b \cdot \cos^2 t + (a+b)^2 \sin^2 t\} x^2 / (4a^2 b^2 \cos^2 t)\}^{1/2}]$$

において

$$z = A/B + C_0 y^2 + C_2 x^2 + C_0 y^4 + C_2 x^2 y + C_0 y^4 + C_2 x^2 y^2 + C_4 x^4$$

と表したとき、

該反射面の基準軸に対する面の傾きを  $\theta$ 、基準軸に沿って測った前記絞りの中心と該反射面の距離を  $d$  とする時、

$$a \cdot b > 0$$

$$0.9 < t/|\theta| < 1.5$$

$$0.9 < a/d < 2.0$$

$$0.9 < b/d < 2.0$$

を満足することを特徴とする請求項 2 4 の反射型の光学系。

【請求項 2 6】 前記反射型の光学系の入射瞳が前記光学素子の物体側より数えて第 1 の曲面の反射面より物体側に位置するように各要素を設定したことを特徴とする請求項 2 1 の反射型の光学系。

【請求項 2 7】 前記光学素子は入射する基準軸と射出する基準軸が平行で且つ同方向を向いていることを特徴とする請求項 2 1 ~ 2 6 のいずれか 1 項に記載の反射型の光学系。

【請求項 2 8】 前記光学素子は入射する基準軸と射出する基準軸の方向が平行で且つ反対方向を向いていることを特徴とする請求項 2 1 ~ 2 6 のいずれか 1 項に記載の反射型の光学系。

【請求項 2 9】 前記光学素子は、入射する基準軸と射出する基準軸の方向が直交していることを特徴とする請求項 2 1 ~ 2 6 のいずれか 1 項に記載の反射型の光学系。

【請求項 3 0】 前記光学素子の物体側及び／又は像側に屈折光学系を設置していることを特徴とする請求項 2 1 ~ 2 9 のいずれか 1 項に記載の反射型の光学系。

【請求項 3 1】 前記光学素子を構成する曲面より成る反射面はすべて対称面を 1 つだけ有する形状であることを特徴とする請求項 2 1 ~ 3 0 のいずれか 1 項に記載の反射型の光学系。

【請求項 3 2】 前記光学素子は、射出する基準軸の方向に平行に移動してフォーカシングすることを特徴とす

る請求項 2 1 ~ 3 1 のいずれか 1 項に記載の反射型の光学系。

【請求項 3 3】 表面反射鏡より成る少なくとも 3 つの曲面の反射面と、基準軸と反射面の交点における該反射面の法線が該複数の反射面間の基準軸が存在する平面に対して傾いている反射面とを一体的に形成した光学素子を有し、

物体からの光束が該複数の反射面で反射を繰り返して射出して物体の像を結像する際に、

物体からの光束が該複数の反射面の間で物体像を一旦結像した後に再び物体像を結像することを特徴とする反射型の光学系。

【請求項 3 4】 前記光学素子の物体側に絞りを設けたことを特徴とする請求項 3 3 の反射型の光学系。

【請求項 3 5】 前記光学素子の物体側から数えて第 1 の曲面の反射面が収斂作用を有することを特徴とする請求項 3 4 の反射型の光学系。

【請求項 3 6】 前記第 1 の曲面の反射面が回転楕円面で構成されていることを特徴とする請求項 3 5 の反射型の光学系。

【請求項 3 7】 前記第 1 の曲面の反射面の形状は、該反射面のローカル座標系  $x y z$  を用い、該反射面のベース面の形状を表す係数を  $a, b, t$  として、

$$A = (a+b) \cdot (y^2 \cdot \cos^2 t + x^2) \\ B = 2a \cdot b \cdot \cos t [1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (2a \cdot b)\} + \{1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (a \cdot b)\} - \{y^2 / (a \cdot b)\} - \{4a \cdot b \cdot \cos^2 t + (a+b)^2 \sin^2 t\} x^2 / (4a^2 b^2 \cos^2 t)\}^{1/2}]$$

において

$$z = A/B + C_0 y^2 + C_2 x^2 + C_0 y^4 + C_2 x^2 y + C_0 y^4 + C_2 x^2 y^2 + C_4 x^4$$

と表したとき、

該反射面の基準軸に対する面の傾きを  $\theta$ 、基準軸に沿って測った前記絞りの中心と該反射面の距離を  $d$  とする時、

$$a \cdot b > 0$$

$$0.9 < t/|\theta| < 1.5$$

$$0.9 < a/d < 2.0$$

$$0.9 < b/d < 2.0$$

を満足することを特徴とする請求項 3 6 の反射型の光学系。

【請求項 3 8】 前記反射型の光学系の入射瞳が前記光学素子の物体側より数えて第 1 の曲面の反射面より物体側に位置するように各要素を設定したことを特徴とする請求項 3 3 の反射型の光学系。

【請求項 3 9】 前記光学素子は、入射する基準軸と射出する基準軸の方向が直交していることを特徴とする請求項 3 3 ~ 3 8 のいずれか 1 項に記載の反射型の光学系。

【請求項 4 0】 前記光学素子を構成する曲面より成る反射面はすべて対称面を 1 つだけ有する形状であること

を特徴とする請求項 33～39 のいずれか 1 項に記載の反射型の光学系。

【請求項 41】 請求項 1～40 のいずれか 1 項に記載の反射型の光学系を有し、  
撮像媒体の撮像面上に前記物体の像を結像することを特徴とする撮像装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は反射型の光学系及びそれを用いた撮像装置に関し、特に複数の反射面を有した光学素子を用いて、物体像を所定面上に形成するようにした光学系全体の小型化を図った、ビデオカメラやスチールビデオカメラ、そして複写機等に好適なものである。

【0002】

【従来の技術】従来より凹面鏡や凸面鏡等の反射面を利用した撮影光学系が種々と提案されている。図 24 は 1 つの凹面鏡と 1 つの凸面鏡より成る所謂ミラー光学系の概略図である。

【0003】同図のミラー光学系において、物体からの物体光束 104 は、凹面鏡 101 にて反射され、収束されつつ物体側に向かい、凸面鏡 102 にて反射された後、像面 103 に結像する。

【0004】このミラー光学系は、所謂カセグレン式反射望遠鏡の構成を基本としており、屈折レンズで構成されるレンズ全長の長い望遠レンズ系の光路を相対する二つの反射ミラーを用いて折りたたむ事により、光学系全長を短縮することを目的としたものである。

【0005】また、望遠鏡を構成する対物レンズ系においても、同様な理由から、カセグレン式の他に、複数の反射ミラーを用いて光学系全長を短縮する形式が多数知られている。

【0006】この様に、従来よりレンズ全長の長い撮影レンズのレンズの代わりに反射ミラーを用いる事により、効率よく光路を折りたたんで、コンパクトなミラー光学系を得ている。

【0007】しかしながら、一般的にカセグレン式反射望遠鏡等のミラー光学系においては、凸面鏡 102 により物体光線の一部がケラレと言う問題点がある。この問題は物体光束 104 の通過領域中に凸面鏡 102 がある事に起因するものである。

【0008】この問題点を解決する為に、反射ミラーを偏心させて使用して、物体光束 104 の通過領域を光学系他の部分が遮蔽することを避ける、即ち光束の主光線 106 を光軸 105 から離すミラー光学系も提案されている。

【0009】図 25 は米国特許 3,674,334 号明細書に開示されているミラー光学系の概略図であり、光軸に対して回転対称な反射ミラーの一部を用いて上記のケラレの問題を解決している。

【0010】同図のミラー光学系は光束の通過順に凹面

鏡 111、凸面鏡 113 そして凹面鏡 112 があるが、それらはそれぞれ図中二点破線で示す様に、もともと光軸 114 に対して回転対称な反射ミラーである。このうち凹面鏡 111 は光軸 114 に対して紙面上側のみ、凸面鏡 113 は光軸 114 に対して紙面下側のみ、凹面鏡 112 は光軸 114 に対して紙面下側のみを使用する事により、物体光束 115 の主光線 116 を光軸 114 から離し、物体光束 115 のケラレを無くした光学系を構成している。

【0011】図 26 は米国特許 5,063,586 号明細書に開示されているミラー光学系の概略図である。同図のミラー光学系は反射ミラーの中心軸自体を光軸に対して偏心させて物体光束の主光線を光軸から離して上記の問題を解決している。

【0012】同図において、被写体面 121 の垂直軸を光軸 127 と定義した時に、光束の通過順に凸面鏡 122・凹面鏡 123・凸面鏡 124 そして凹面鏡 125 のそれぞれの反射面の中心座標及び中心軸（その反射面の中心とその面の曲率中心とを結んだ軸）122a, 123a, 124a, 125a は、光軸 127 に対して偏心している。同図ではこのときの偏心量と各面の曲率半径を適切に設定することにより、物体光束 128 の各反射ミラーによるケラレを防止して、物体像を効率よく結像面 126 に結像させている。

【0013】その他米国特許 4,737,021 号明細書や米国特許 4,265,510 号明細書にも光軸に対して回転対称な反射ミラーの一部を用いてケラレを避ける構成、或は反射ミラーの中心軸自体を光軸に対して偏心させてケラレを避ける構成が開示されている。

【0014】これらの反射型の撮影光学系は、構成部品点数が多く、必要な光学性能を得る為には、それぞれの光学部品を精度良く組み立てることが必要であった。特に、反射ミラーの相対位置精度が厳しい為、各反射ミラーの位置及び角度の調整が必須であった。

【0015】この問題を解決する一つの方法として、例えばミラー系を一つのブロック化することにより、組立時に生じる光学部品の組み込み誤差を回避する方法が提案されている。

【0016】従来、多数の反射面が一つのブロックになっているものとして、例えばファインダー系等に使用されるペンタゴナルダハプリズムやポロプリズム等の光学プリズムがある。

【0017】これらのプリズムは、複数の反射面が一体成形されている為に、各反射面の相対的な位置関係は精度良く作られており、反射面相互の位置調整は不要となる。但し、これらのプリズムの主な機能は、光線の進行方向を変化させることで像の反転を行うものであり、各反射面は平面で構成されている。

【0018】これに対して、プリズムの反射面に曲率を持たせた光学系も知られている。

【0019】図 27 は米国特許 4,775,217 号明細書に開示されている観察光学系の要部概略図である。この観察

光学系は外界の風景を観察すると共に、情報表示体に表示した表示画像を風景とオーバーラップして観察する光学系である。

【0020】この観察光学系では、情報表示体141の表示画像から射出する表示光束145は面142にて反射して物体側に向かい、凹面より成るハーフミラー面143に入射する。そしてこのハーフミラー面143にて反射した後、表示光束145は凹面143の有する屈折力によりほぼ平行な光束となり、面142を屈折透過した後、表示画像の拡大虚像を形成するとともに、観察者の瞳144に入射して表示画像を観察者に認識させている。

【0021】一方、物体からの物体光束146は反射面142とはほぼ平行な面147に入射し、屈折して凹面のハーフミラー面143に至る。凹面143には半透過膜が蒸着されており、物体光束146の一部は凹面143を透過し、面142を屈折透過後、観察者の瞳144に入射する。これにより観察者は外界の風景の中に表示画像をオーバーラップして視認する。

【0022】図28は特開平2-297516号公報に開示されている観察光学系の要部概略図である。この観察光学系も外界の風景を観察すると共に、情報表示体に表示した表示画像をオーバーラップして観察する光学系である。

【0023】この観察光学系では、情報表示体150から射出した表示光束154は、プリズムPaを構成する平面157を透過しプリズムPaに入り放物面反射面151に入射する。表示光束154はこの反射面151にて反射されて収束光束となり焦点面156に結像する。このとき反射面151で反射された表示光束154は、プリズムPaを構成する2つの平行な平面157と平面158との間を全反射しながら焦点面156に到達しており、これによって光学系全体の薄型化を達成している。

【0024】次に焦点面156から発散光として射出した表示光束154は、平面157と平面158の間を全反射しながら放物面より成るハーフミラー152に入射し、このハーフミラー面152で反射されると同時にその屈折力によって表示画像の拡大虚像を形成すると共にほぼ平行な光束となり、面157を透過して観察者の瞳153に入射し、これにより表示画像を観察者に認識させている。

【0025】一方、外界からの物体光束155はプリズムPbを構成する面158bを透過し、放物面より成るハーフミラー152を透過し、面157を透過して観察者の瞳153に入射する。観察者は外界の風景の中に表示画像をオーバーラップして視認する。

【0026】さらに、プリズムの反射面に光学素子を用いた例として、例えば特開平5-12704号公報や特開平6-139612号公報等に開示されている光ピックアップ用の光学ヘッドがある。これらは半導体レーザーからの光をフレネル面やホログラム面にて反射させた後、ディスク面に結像し、ディスクからの反射光をディテクターに導いている。

【0027】

【発明が解決しようとする課題】前記米国特許3,674,334号明細書、米国特許5,063,586号明細書、米国特許4,265,510号明細書に開示されている偏心ミラーを有するミラー光学系は、いずれも各反射ミラーを異なる偏心量にて配置しており、各反射ミラーの取り付け構造が非常に煩雑となり、また取り付け精度を確保する事が非常に難しいものとなっている。

【0028】又従来の反射型の撮影光学系は、光学系全長が長く画角の小さい所謂望遠タイプのレンズ系に適した構成となっている。そして、標準レンズの画角から広角レンズの画角までを必要とする撮影光学系を得る場合には収差補正上必要とされる反射面数が多くなる為、更に高い部品精度、高い組立精度が必要となり、コスト或は全体が大型化する傾向があった。

【0029】又、前記米国特許4,775,217号明細書、特開平2-297516号公報に開示されている観察光学系は、いずれも観察者の瞳から離れて配置されている情報表示体に表示されている表示画像を効率良く観察者の瞳に伝達する為の結像作用と光線の進行方向を変化させる事を主眼としており、曲率を持った反射面にて積極的な収差補正を行う技術については直接的に開示されていない。

【0030】又、特開平5-12704号公報や特開平6-139612号公報等に開示されている光ピックアップ用の光学系は、いずれも検知光学系の使用に限定されており、撮影光学系、特にCCD等の面積型の撮像素子を用いた撮像装置に対する結像性能を満足するものではなかった。

【0031】本発明は、複数の曲面や平面の反射面を一体的に形成した光学素子を複数用いて、ミラー光学系全体の小型化を図りつつ、又ミラー光学系にありがちな反射ミラーの配置精度(組立精度)を緩やかにした反射型の光学系及びそれを用いた撮像装置の提供を目的とする。

【0032】また、絞りを光学系の最も物体側に配置し、且つ該光学系の中で物体像を少なくとも1回結像させる構成とすることにより、広画角の反射型の光学系でありながら、光学系の有効径の縮小化を図ること、そして該光学素子を構成する複数の反射面に適切な屈折力を与え、各光学素子を構成する反射面を偏心配置することにより、光学系内の光路を所望の形状に屈曲し、該光学系の所定方向の全長の短縮化を図った反射型の光学系及びそれを用いた撮像装置の提供を目的とする。

【0033】

【課題を解決するための手段】本発明の反射型の光学系は、

(1-1) 透明体の表面に光の入射面と射出面、そして曲面より成る内面反射の反射面を少なくとも3つ設けた光学素子を用いて、物体からの光束を該入射面で入射させた後に該反射面の少なくとも1つで反射させて該光

光学素子内で1次結像させた後に、残りの反射面を介して該射出面より射出させて所定面上に物体像を形成する際、該光学素子の中の基準軸の長さの70%以上が1つの平面内にあるように各要素を設定したこと等を特徴としている。

【0034】特に、

(1-1-1) 前記光学素子の入射面近傍に絞りを設けた。

(1-1-2) 前記光学素子の物体側から数えて第1の曲面の反射面が収斂作用を有する。

(1-1-3) 前記第1の曲面の反射面が回転楕円面で構成されている。

(1-1-4) 前記第1の曲面の反射面の形状は、該反射面のローカル座標系  $x y z$  を用い、該反射面のベース面の形状を表す係数を  $a, b, t$  として、

$$A = (a+b) \cdot (y^2 \cdot \cos^2 t + x^2) \\ B = 2a \cdot b \cdot \cos t [1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (2a \cdot b)\} + \{1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (a \cdot b)\} - \{y^2 / (a \cdot b)\} - \{4a \cdot b \cdot \cos^2 t + (a+b)^2 \sin^2 t\} x^2 / (4a^2 b^2 \cos^2 t)\}^{1/2}]$$

において

$$z = A/B + C_0 \cdot y^2 + C_1 \cdot x^2 + C_2 \cdot y^3 + C_3 \cdot x^2 y + C_4 \cdot y^4 + C_5 \cdot x^2 y^2 + C_6 \cdot x^4$$

と表したとき、該反射面の基準軸に対する面の傾きを  $\theta$ 、基準軸に沿って測った前記絞りの中心と該反射面の距離を  $d$  とする時、

$$a \cdot b > 0$$

$$0.9 < t/|\theta| < 1.5$$

$$0.9 < a/d < 2.0$$

$$0.9 < b/d < 2.0$$

を満足する。

(1-1-5) 前記反射型の光学系の入射瞳が前記光学素子の物体側より数えて第1の反射面より物体側に位置するように各要素を設定した。

(1-1-6) 前記光学素子は入射する基準軸と射出する基準軸が平行で且つ同方向を向いている。

(1-1-7) 前記光学素子は入射する基準軸と射出する基準軸の方向が平行で且つ反対方向を向いている。

(1-1-8) 前記光学素子は、入射する基準軸と射出する基準軸の方向が直交している。

(1-1-9) 前記光学素子を構成する曲面より成る反射面はすべて対称面を1つだけ有する形状である。

(1-1-10) 前記入射面と射出面は屈折力を有している。

(1-1-11) 前記入射面は正の屈折力を有する。

(1-1-12) 前記入射面は負の屈折力を有し、前記射出面は正の屈折力を有している。

(1-1-13) 前記入射面と射出面はいずれも負の屈折力を有している。

(1-1-14) 前記入射面と射出面はいずれも正の屈折力を有している。

(1-1-15) 前記入射面は正の屈折力を有し、前記射出面は負の屈折力を有している。

(1-1-16) 前記入射面と射出面は基準軸に対して回転対称な形状である。

(1-1-17) 前記光学素子は、射出する基準軸に平行に移動してフォーカシングする。

(1-1-18) 前記光学素子の基準軸はすべて1つの平面上にある。

(1-1-19) 前記光学素子は、基準軸と反射面の交点における該反射面の法線が、該光学素子の基準軸の70%以上が存在する平面に対して傾いている反射面を有している。

こと等を特徴としている。

【0035】更に、本発明の反射型の光学系は、

(1-2) 表面反射の曲面より成る反射面を少なくとも3つ、基準軸が1つの平面上に位置し、且つ互いに対向するように一体的に形成した光学素子を用いて、物体からの光束を該3つの反射面のうち少なくとも1つで反射させた後に物体像を結像させ、更に残りの反射面で再び該物体像を所定面上に縮小して結像すること等を特徴としている。

【0036】特に、

(1-2-1) 前記光学素子の物体側に絞りを設けた。

(1-2-2) 前記光学素子の物体側から数えて第1の曲面の反射面が収斂作用を有する。

(1-2-3) 前記第1の曲面の反射面が回転楕円面で構成されている。

(1-2-4) 前記第1の曲面の反射面の形状は、該反射面のローカル座標系  $x y z$  を用い、該反射面のベース面の形状を表す係数を  $a, b, t$  として、

$$A = (a+b) \cdot (y^2 \cdot \cos^2 t + x^2) \\ B = 2a \cdot b \cdot \cos t [1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (2a \cdot b)\} + \{1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (a \cdot b)\} - \{y^2 / (a \cdot b)\} - \{4a \cdot b \cdot \cos^2 t + (a+b)^2 \sin^2 t\} x^2 / (4a^2 b^2 \cos^2 t)\}^{1/2}]$$

において

$$z = A/B + C_0 \cdot y^2 + C_1 \cdot x^2 + C_2 \cdot y^3 + C_3 \cdot x^2 y + C_4 \cdot y^4 + C_5 \cdot x^2 y^2 + C_6 \cdot x^4$$

と表したとき、該反射面の基準軸に対する面の傾きを  $\theta$ 、基準軸に沿って測った前記絞りの中心と該反射面の距離を  $d$  とする時、

$$a \cdot b > 0$$

$$0.9 < t/|\theta| < 1.5$$

$$0.9 < a/d < 2.0$$

$$0.9 < b/d < 2.0$$

を満足する。

(1-2-5) 前記反射型の光学系の入射瞳が前記光学素子の物体側より数えて第1の曲面の反射面より物体側に位置するように各要素を設定した。

(1-2-6) 前記光学素子は入射する基準軸と射出



する基準軸が平行で且つ同方向を向いている。

(1-2-7) 前記光学素子は入射する基準軸と射出する基準軸の方向が平行で且つ反対方向を向いている。

(1-2-8) 前記光学素子は、入射する基準軸と射出する基準軸の方向が直交している。

(1-2-9) 前記光学素子の物体側及び／又は像側に屈折光学系を設置している。

(1-2-10) 前記光学素子を構成する曲面より成る反射面はすべて対称面を1つだけ有する形状である。

(1-2-11) 前記光学素子は、射出する基準軸の方向に平行に移動してフォーカシングする。

こと等の特徴としている。

【0037】更に、本発明の反射型の光学系は、

(1-3) 表面反射鏡より成る少なくとも3つの曲面の反射面と、基準軸と反射面の交点における該反射面の法線が該複数の反射面間の基準軸が存在する平面に対して傾いている反射面とを一体的に形成した光学素子を有し、物体からの光束が該複数の反射面で反射を繰り返して射出して物体の像を結像する際に、物体からの光束が該複数の反射面の間で物体像を一旦結像した後に再び物体像を結像すること等の特徴としている。

【0038】特に、

(1-3-1) 前記光学素子の物体側に絞りを設けた。

(1-3-2) 前記光学素子の物体側から数えて第1の曲面の反射面が収斂作用を有する。

(1-3-3) 前記第1の曲面の反射面が回転楕円面で構成されている。

(1-3-4) 前記第1の曲面の反射面の形状は、該反射面のローカル座標系  $x y z$  を用い、該反射面のベース面の形状を表す係数を  $a, b, t$  として、

$$A = (a+b) \cdot (y^2 \cdot \cos^2 t + x^2)$$

$$B = 2a \cdot b \cdot \cos t [1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (2a \cdot b)\} + \{1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (a \cdot b)\} - \{y^2 / (a \cdot b)\} - \{4a \cdot b \cdot \cos^2 t + (a+b)^2 \sin^2 t\} x^2 / (4a^2 b^2 \cos^2 t)\}^{1/2}]$$

とにおいて

$$z = A/B + C_0 y^2 + C_1 x^2 + C_2 y^4 + C_3 x^4 + C_4 x^2 y^2 + C_5 y^6 + C_6 x^6 + C_7 x^4 y^2 + C_8 x^2 y^4 + C_9 y^8 + C_{10} x^8 + C_{11} x^6 y^2 + C_{12} x^4 y^4 + C_{13} x^2 y^6 + C_{14} y^{10} + C_{15} x^{10} + C_{16} x^8 y^2 + C_{17} x^6 y^4 + C_{18} x^4 y^6 + C_{19} x^2 y^8 + C_{20} y^{12} + C_{21} x^{12} + C_{22} x^{10} y^2 + C_{23} x^8 y^4 + C_{24} x^6 y^6 + C_{25} x^4 y^8 + C_{26} x^2 y^{10} + C_{27} y^{14} + C_{28} x^{14} + C_{29} x^{12} y^2 + C_{30} x^{10} y^4 + C_{31} x^8 y^6 + C_{32} x^6 y^8 + C_{33} x^4 y^{10} + C_{34} x^2 y^{12} + C_{35} y^{16} + C_{36} x^{16} + C_{37} x^{14} y^2 + C_{38} x^{12} y^4 + C_{39} x^{10} y^6 + C_{40} x^8 y^8 + C_{41} x^6 y^{10} + C_{42} x^4 y^{12} + C_{43} x^2 y^{14} + C_{44} y^{18} + C_{45} x^{18} + C_{46} x^{16} y^2 + C_{47} x^{14} y^4 + C_{48} x^{12} y^6 + C_{49} x^{10} y^8 + C_{50} x^8 y^{10} + C_{51} x^6 y^{12} + C_{52} x^4 y^{14} + C_{53} x^2 y^{16} + C_{54} y^{20} + C_{55} x^{20} + C_{56} x^{18} y^2 + C_{57} x^{16} y^4 + C_{58} x^{14} y^6 + C_{59} x^{12} y^8 + C_{60} x^{10} y^{10} + C_{61} x^8 y^{12} + C_{62} x^6 y^{14} + C_{63} x^4 y^{16} + C_{64} x^2 y^{18} + C_{65} y^{22} + C_{66} x^{22} + C_{67} x^{20} y^2 + C_{68} x^{18} y^4 + C_{69} x^{16} y^6 + C_{70} x^{14} y^8 + C_{71} x^{12} y^{10} + C_{72} x^{10} y^{12} + C_{73} x^8 y^{14} + C_{74} x^6 y^{16} + C_{75} x^4 y^{18} + C_{76} x^2 y^{20} + C_{77} y^{24} + C_{78} x^{24} + C_{79} x^{22} y^2 + C_{80} x^{20} y^4 + C_{81} x^{18} y^6 + C_{82} x^{16} y^8 + C_{83} x^{14} y^{10} + C_{84} x^{12} y^{12} + C_{85} x^{10} y^{14} + C_{86} x^8 y^{16} + C_{87} x^6 y^{18} + C_{88} x^4 y^{20} + C_{89} x^2 y^{22} + C_{90} y^{26} + C_{91} x^{26} + C_{92} x^{24} y^2 + C_{93} x^{22} y^4 + C_{94} x^{20} y^6 + C_{95} x^{18} y^8 + C_{96} x^{16} y^{10} + C_{97} x^{14} y^{12} + C_{98} x^{12} y^{14} + C_{99} x^{10} y^{16} + C_{100} x^8 y^{18} + C_{101} x^6 y^{20} + C_{102} x^4 y^{22} + C_{103} x^2 y^{24} + C_{104} y^{28} + C_{105} x^{28} + C_{106} x^{26} y^2 + C_{107} x^{24} y^4 + C_{108} x^{22} y^6 + C_{109} x^{20} y^8 + C_{110} x^{18} y^{10} + C_{111} x^{16} y^{12} + C_{112} x^{14} y^{14} + C_{113} x^{12} y^{16} + C_{114} x^{10} y^{18} + C_{115} x^8 y^{20} + C_{116} x^6 y^{22} + C_{117} x^4 y^{24} + C_{118} x^2 y^{26} + C_{119} y^{30} + C_{120} x^{30} + C_{121} x^{28} y^2 + C_{122} x^{26} y^4 + C_{123} x^{24} y^6 + C_{124} x^{22} y^8 + C_{125} x^{20} y^{10} + C_{126} x^{18} y^{12} + C_{127} x^{16} y^{14} + C_{128} x^{14} y^{16} + C_{129} x^{12} y^{18} + C_{130} x^{10} y^{20} + C_{131} x^8 y^{22} + C_{132} x^6 y^{24} + C_{133} x^4 y^{26} + C_{134} x^2 y^{28} + C_{135} y^{32} + C_{136} x^{32} + C_{137} x^{30} y^2 + C_{138} x^{28} y^4 + C_{139} x^{26} y^6 + C_{140} x^{24} y^8 + C_{141} x^{22} y^{10} + C_{142} x^{20} y^{12} + C_{143} x^{18} y^{14} + C_{144} x^{16} y^{16} + C_{145} x^{14} y^{18} + C_{146} x^{12} y^{20} + C_{147} x^{10} y^{22} + C_{148} x^8 y^{24} + C_{149} x^6 y^{26} + C_{150} x^4 y^{28} + C_{151} x^2 y^{30} + C_{152} y^{34} + C_{153} x^{34} + C_{154} x^{32} y^2 + C_{155} x^{30} y^4 + C_{156} x^{28} y^6 + C_{157} x^{26} y^8 + C_{158} x^{24} y^{10} + C_{159} x^{22} y^{12} + C_{160} x^{20} y^{14} + C_{161} x^{18} y^{16} + C_{162} x^{16} y^{18} + C_{163} x^{14} y^{20} + C_{164} x^{12} y^{22} + C_{165} x^{10} y^{24} + C_{166} x^8 y^{26} + C_{167} x^6 y^{28} + C_{168} x^4 y^{30} + C_{169} x^2 y^{32} + C_{170} y^{36} + C_{171} x^{36} + C_{172} x^{34} y^2 + C_{173} x^{32} y^4 + C_{174} x^{30} y^6 + C_{175} x^{28} y^8 + C_{176} x^{26} y^{10} + C_{177} x^{24} y^{12} + C_{178} x^{22} y^{14} + C_{179} x^{20} y^{16} + C_{180} x^{18} y^{18} + C_{181} x^{16} y^{20} + C_{182} x^{14} y^{22} + C_{183} x^{12} y^{24} + C_{184} x^{10} y^{26} + C_{185} x^8 y^{28} + C_{186} x^6 y^{30} + C_{187} x^4 y^{32} + C_{188} x^2 y^{34} + C_{189} y^{38} + C_{190} x^{38} + C_{191} x^{36} y^2 + C_{192} x^{34} y^4 + C_{193} x^{32} y^6 + C_{194} x^{30} y^8 + C_{195} x^{28} y^{10} + C_{196} x^{26} y^{12} + C_{197} x^{24} y^{14} + C_{198} x^{22} y^{16} + C_{199} x^{20} y^{18} + C_{200} x^{18} y^{20} + C_{201} x^{16} y^{22} + C_{202} x^{14} y^{24} + C_{203} x^{12} y^{26} + C_{204} x^{10} y^{28} + C_{205} x^8 y^{30} + C_{206} x^6 y^{32} + C_{207} x^4 y^{34} + C_{208} x^2 y^{36} + C_{209} y^{40} + C_{210} x^{40} + C_{211} x^{38} y^2 + C_{212} x^{36} y^4 + C_{213} x^{34} y^6 + C_{214} x^{32} y^8 + C_{215} x^{30} y^{10} + C_{216} x^{28} y^{12} + C_{217} x^{26} y^{14} + C_{218} x^{24} y^{16} + C_{219} x^{22} y^{18} + C_{220} x^{20} y^{20} + C_{221} x^{18} y^{22} + C_{222} x^{16} y^{24} + C_{223} x^{14} y^{26} + C_{224} x^{12} y^{28} + C_{225} x^{10} y^{30} + C_{226} x^8 y^{32} + C_{227} x^6 y^{34} + C_{228} x^4 y^{36} + C_{229} x^2 y^{38} + C_{230} y^{42} + C_{231} x^{42} + C_{232} x^{40} y^2 + C_{233} x^{38} y^4 + C_{234} x^{36} y^6 + C_{235} x^{34} y^8 + C_{236} x^{32} y^{10} + C_{237} x^{30} y^{12} + C_{238} x^{28} y^{14} + C_{239} x^{26} y^{16} + C_{240} x^{24} y^{18} + C_{241} x^{22} y^{20} + C_{242} x^{20} y^{22} + C_{243} x^{18} y^{24} + C_{244} x^{16} y^{26} + C_{245} x^{14} y^{28} + C_{246} x^{12} y^{30} + C_{247} x^{10} y^{32} + C_{248} x^8 y^{34} + C_{249} x^6 y^{36} + C_{250} x^4 y^{38} + C_{251} x^2 y^{40} + C_{252} y^{44} + C_{253} x^{44} + C_{254} x^{42} y^2 + C_{255} x^{40} y^4 + C_{256} x^{38} y^6 + C_{257} x^{36} y^8 + C_{258} x^{34} y^{10} + C_{259} x^{32} y^{12} + C_{260} x^{30} y^{14} + C_{261} x^{28} y^{16} + C_{262} x^{26} y^{18} + C_{263} x^{24} y^{20} + C_{264} x^{22} y^{22} + C_{265} x^{20} y^{24} + C_{266} x^{18} y^{26} + C_{267} x^{16} y^{28} + C_{268} x^{14} y^{30} + C_{269} x^{12} y^{32} + C_{270} x^{10} y^{34} + C_{271} x^8 y^{36} + C_{272} x^6 y^{38} + C_{273} x^4 y^{40} + C_{274} x^2 y^{42} + C_{275} y^{46} + C_{276} x^{46} + C_{277} x^{44} y^2 + C_{278} x^{42} y^4 + C_{279} x^{40} y^6 + C_{280} x^{38} y^8 + C_{281} x^{36} y^{10} + C_{282} x^{34} y^{12} + C_{283} x^{32} y^{14} + C_{284} x^{30} y^{16} + C_{285} x^{28} y^{18} + C_{286} x^{26} y^{20} + C_{287} x^{24} y^{22} + C_{288} x^{22} y^{24} + C_{289} x^{20} y^{26} + C_{290} x^{18} y^{28} + C_{291} x^{16} y^{30} + C_{292} x^{14} y^{32} + C_{293} x^{12} y^{34} + C_{294} x^{10} y^{36} + C_{295} x^8 y^{38} + C_{296} x^6 y^{40} + C_{297} x^4 y^{42} + C_{298} x^2 y^{44} + C_{299} y^{48} + C_{300} x^{48} + C_{301} x^{46} y^2 + C_{302} x^{44} y^4 + C_{303} x^{42} y^6 + C_{304} x^{40} y^8 + C_{305} x^{38} y^{10} + C_{306} x^{36} y^{12} + C_{307} x^{34} y^{14} + C_{308} x^{32} y^{16} + C_{309} x^{30} y^{18} + C_{310} x^{28} y^{20} + C_{311} x^{26} y^{22} + C_{312} x^{24} y^{24} + C_{313} x^{22} y^{26} + C_{314} x^{20} y^{28} + C_{315} x^{18} y^{30} + C_{316} x^{16} y^{32} + C_{317} x^{14} y^{34} + C_{318} x^{12} y^{36} + C_{319} x^{10} y^{38} + C_{320} x^8 y^{40} + C_{321} x^6 y^{42} + C_{322} x^4 y^{44} + C_{323} x^2 y^{46} + C_{324} y^{50} + C_{325} x^{50} + C_{326} x^{48} y^2 + C_{327} x^{46} y^4 + C_{328} x^{44} y^6 + C_{329} x^{42} y^8 + C_{330} x^{40} y^{10} + C_{331} x^{38} y^{12} + C_{332} x^{36} y^{14} + C_{333} x^{34} y^{16} + C_{334} x^{32} y^{18} + C_{335} x^{30} y^{20} + C_{336} x^{28} y^{22} + C_{337} x^{26} y^{24} + C_{338} x^{24} y^{26} + C_{339} x^{22} y^{28} + C_{340} x^{20} y^{30} + C_{341} x^{18} y^{32} + C_{342} x^{16} y^{34} + C_{343} x^{14} y^{36} + C_{344} x^{12} y^{38} + C_{345} x^{10} y^{40} + C_{346} x^8 y^{42} + C_{347} x^6 y^{44} + C_{348} x^4 y^{46} + C_{349} x^2 y^{48} + C_{350} y^{54} + C_{351} x^{54} + C_{352} x^{52} y^2 + C_{353} x^{50} y^4 + C_{354} x^{48} y^6 + C_{355} x^{46} y^8 + C_{356} x^{44} y^{10} + C_{357} x^{42} y^{12} + C_{358} x^{40} y^{14} + C_{359} x^{38} y^{16} + C_{360} x^{36} y^{18} + C_{361} x^{34} y^{20} + C_{362} x^{32} y^{22} + C_{363} x^{30} y^{24} + C_{364} x^{28} y^{26} + C_{365} x^{26} y^{28} + C_{366} x^{24} y^{30} + C_{367} x^{22} y^{32} + C_{368} x^{20} y^{34} + C_{369} x^{18} y^{36} + C_{370} x^{16} y^{38} + C_{371} x^{14} y^{40} + C_{372} x^{12} y^{42} + C_{373} x^{10} y^{44} + C_{374} x^8 y^{46} + C_{375} x^6 y^{48} + C_{376} x^4 y^{50} + C_{377} x^2 y^{52} + C_{378} y^{56} + C_{379} x^{56} + C_{380} x^{54} y^2 + C_{381} x^{52} y^4 + C_{382} x^{50} y^6 + C_{383} x^{48} y^8 + C_{384} x^{46} y^{10} + C_{385} x^{44} y^{12} + C_{386} x^{42} y^{14} + C_{387} x^{40} y^{16} + C_{388} x^{38} y^{18} + C_{389} x^{36} y^{20} + C_{390} x^{34} y^{22} + C_{391} x^{32} y^{24} + C_{392} x^{30} y^{26} + C_{393} x^{28} y^{28} + C_{394} x^{26} y^{30} + C_{395} x^{24} y^{32} + C_{396} x^{22} y^{34} + C_{397} x^{20} y^{36} + C_{398} x^{18} y^{38} + C_{399} x^{16} y^{40} + C_{400} x^{14} y^{42} + C_{401} x^{12} y^{44} + C_{402} x^{10} y^{46} + C_{403} x^8 y^{48} + C_{404} x^6 y^{50} + C_{405} x^4 y^{52} + C_{406} x^2 y^{54} + C_{407} y^{58} + C_{408} x^{58} + C_{409} x^{56} y^2 + C_{410} x^{54} y^4 + C_{411} x^{52} y^6 + C_{412} x^{50} y^8 + C_{413} x^{48} y^{10} + C_{414} x^{46} y^{12} + C_{415} x^{44} y^{14} + C_{416} x^{42} y^{16} + C_{417} x^{40} y^{18} + C_{418} x^{38} y^{20} + C_{419} x^{36} y^{22} + C_{420} x^{34} y^{24} + C_{421} x^{32} y^{26} + C_{422} x^{30} y^{28} + C_{423} x^{28} y^{30} + C_{424} x^{26} y^{32} + C_{425} x^{24} y^{34} + C_{426} x^{22} y^{36} + C_{427} x^{20} y^{38} + C_{428} x^{18} y^{40} + C_{429} x^{16} y^{42} + C_{430} x^{14} y^{44} + C_{431} x^{12} y^{46} + C_{432} x^{10} y^{48} + C_{433} x^8 y^{50} + C_{434} x^6 y^{52} + C_{435} x^4 y^{54} + C_{436} x^2 y^{56} + C_{437} y^{60} + C_{438} x^{60} + C_{439} x^{58} y^2 + C_{440} x^{56} y^4 + C_{441} x^{54} y^6 + C_{442} x^{52} y^8 + C_{443} x^{50} y^{10} + C_{444} x^{48} y^{12} + C_{445} x^{46} y^{14} + C_{446} x^{44} y^{16} + C_{447} x^{42} y^{18} + C_{448} x^{40} y^{20} + C_{449} x^{38} y^{22} + C_{450} x^{36} y^{24} + C_{451} x^{34} y^{26} + C_{452} x^{32} y^{28} + C_{453} x^{30} y^{30} + C_{454} x^{28} y^{32} + C_{455} x^{26} y^{34} + C_{456} x^{24} y^{36} + C_{457} x^{22} y^{38} + C_{458} x^{20} y^{40} + C_{459} x^{18} y^{42} + C_{460} x^{16} y^{44} + C_{461} x^{14} y^{46} + C_{462} x^{12} y^{48} + C_{463} x^{10} y^{50} + C_{464} x^8 y^{52} + C_{465} x^6 y^{54} + C_{466} x^4 y^{56} + C_{467} x^2 y^{58} + C_{468} y^{62} + C_{469} x^{62} + C_{470} x^{60} y^2 + C_{471} x^{58} y^4 + C_{472} x^{56} y^6 + C_{473} x^{54} y^8 + C_{474} x^{52} y^{10} + C_{475} x^{50} y^{12} + C_{476} x^{48} y^{14} + C_{477} x^{46} y^{16} + C_{478} x^{44} y^{18} + C_{479} x^{42} y^{20} + C_{480} x^{40} y^{22} + C_{481} x^{38} y^{24} + C_{482} x^{36} y^{26} + C_{483} x^{34} y^{28} + C_{484} x^{32} y^{30} + C_{485} x^{30} y^{32} + C_{486} x^{28} y^{34} + C_{487} x^{26} y^{36} + C_{488} x^{24} y^{38} + C_{489} x^{22} y^{40} + C_{490} x^{20} y^{42} + C_{491} x^{18} y^{44} + C_{492} x^{16} y^{46} + C_{493} x^{14} y^{48} + C_{494} x^{12} y^{50} + C_{495} x^{10} y^{52} + C_{496} x^8 y^{54} + C_{497} x^6 y^{56} + C_{498} x^4 y^{58} + C_{499} x^2 y^{60} + C_{500} y^{64} + C_{501} x^{64} + C_{502} x^{62} y^2 + C_{503} x^{60} y^4 + C_{504} x^{58} y^6 + C_{505} x^{56} y^8 + C_{506} x^{54} y^{10} + C_{507} x^{52} y^{12} + C_{508} x^{50} y^{14} + C_{509} x^{48} y^{16} + C_{510} x^{46} y^{18} + C_{511} x^{44} y^{20} + C_{512} x^{42} y^{22} + C_{513} x^{40} y^{24} + C_{514} x^{38} y^{26} + C_{515} x^{36} y^{28} + C_{516} x^{34} y^{30} + C_{517} x^{32} y^{32} + C_{518} x^{30} y^{34} + C_{519} x^{28} y^{36} + C_{520} x^{26} y^{38} + C_{521} x^{24} y^{40} + C_{522} x^{22} y^{42} + C_{523} x^{20} y^{44} + C_{524} x^{18} y^{46} + C_{525} x^{16} y^{48} + C_{526} x^{14} y^{50} + C_{527} x^{12} y^{52} + C_{528} x^{10} y^{54} + C_{529} x^8 y^{56} + C_{530} x^6 y^{58} + C_{531} x^4 y^{60} + C_{532} x^2 y^{62} + C_{533} y^{66} + C_{534} x^{66} + C_{535} x^{64} y^2 + C_{536} x^{62} y^4 + C_{537} x^{60} y^6 + C_{538} x^{58} y^8 + C_{539} x^{56} y^{10} + C_{540} x^{54} y^{12} + C_{541} x^{52} y^{14} + C_{542} x^{50} y^{16} + C_{543} x^{48} y^{18} + C_{544} x^{46} y^{20} + C_{545} x^{44} y^{22} + C_{546} x^{42} y^{24} + C_{547} x^{40} y^{26} + C_{548} x^{38} y^{28} + C_{549} x^{36} y^{30} + C_{550} x^{34} y^{32} + C_{551} x^{32} y^{34} + C_{552} x^{30} y^{36} + C_{553} x^{28} y^{38} + C_{554} x^{26} y^{40} + C_{555} x^{24} y^{42} + C_{556} x^{22} y^{44} + C_{557} x^{20} y^{46} + C_{558} x^{18} y^{48} + C_{559} x^{16} y^{50} + C_{560} x^{14} y^{52} + C_{561} x^{12} y^{54} + C_{562} x^{10} y^{56} + C_{563} x^8 y^{58} + C_{564} x^6 y^{60} + C_{565} x^4 y^{62} + C_{566} x^2 y^{64} + C_{567} y^{68} + C_{568} x^{68} + C_{569} x^{66} y^2 + C_{570} x^{64} y^4 + C_{571} x^{62} y^6 + C_{572} x^{60} y^8 + C_{573} x^{58} y^{10} + C_{574} x^{56} y^{12} + C_{575} x^{54} y^{14} + C_{576} x^{52} y^{16} + C_{577} x^{50} y^{18} + C_{578} x^{48} y^{20} + C_{579} x^{46} y^{22} + C_{580} x^{44} y^{24} + C_{581} x^{42} y^{26} + C_{582} x^{40} y^{28} + C_{583} x^{38} y^{30} + C_{584} x^{36} y^{32} + C_{585} x^{34} y^{34} + C_{586} x^{32} y^{36} + C_{587} x^{30} y^{38} + C_{588} x^{28} y^{40} + C_{589} x^{26} y^{42} + C_{590} x^{24} y^{44} + C_{591} x^{22} y^{46} + C_{592} x^{20} y^{48} + C_{593} x^{18} y^{50} + C_{594} x^{16} y^{52} + C_{595} x^{14} y^{54} + C_{596} x^{12} y^{56} + C_{597} x^{10} y^{58} + C_{598} x^8 y^{60} + C_{599} x^6 y^{62} + C_{600} x^4 y^{64} + C_{601} x^2 y^{66} + C_{602} y^{70} + C_{603} x^{70} + C_{604} x^{68} y^2 + C_{605} x^{66} y^4 + C_{606} x^{64} y^6 + C_{607} x^{62} y^8 + C_{608} x^{60} y^{10} + C_{609} x^{58} y^{12} + C_{610} x^{56} y^{14} + C_{611} x^{54} y^{16} + C_{612} x^{52} y^{18} + C_{613} x^{50} y^{20} + C_{614} x^{48} y^{22} + C_{615} x^{46} y^{24} + C_{616} x^{44} y^{26} + C_{617} x^{42} y^{28} + C_{618} x^{40} y^{30} + C_{619} x^{38} y^{32} + C_{620} x^{36} y^{34} + C_{621} x^{34} y^{36} + C_{622} x^{32} y^{38} + C_{623} x^{30} y^{40} + C_{624} x^{28} y^{42} + C_{625} x^{26} y^{44} + C_{626} x^{24} y^{46} + C_{627} x^{22} y^{48} + C_{628} x^{20} y^{50} + C_{629} x^{18} y^{52} + C_{630} x^{16} y^{54} + C_{631} x^{14} y^{56} + C_{632} x^{12} y^{58} + C_{633} x^{10} y^{60} + C_{634} x^8 y^{62} + C_{635} x^6 y^{64} + C_{636} x^4 y^{66} + C_{637} x^2 y^{68} + C_{638} y^{72} + C_{639} x^{72} + C_{640} x^{70} y^2 + C_{641} x^{68} y^4 + C_{642} x^{66} y^6 + C_{643} x^{64} y^8 + C_{644} x^{62} y^{10} + C_{645} x^{60} y^{12} + C_{646} x^{58} y^{14} + C_{647} x^{56} y^{16} + C_{648} x^{54} y^{18} + C_{649} x^{52} y^{20} + C_{650} x^{50} y^{22} + C_{651} x^{48} y^{24} + C_{652} x^{46} y^{26} + C_{653} x^{44} y^{28} + C_{654} x^{42} y^{30} + C_{655} x^{40} y^{32} + C_{656} x^{38} y^{34} + C_{657} x^{36} y^{36} + C_{658} x^{34} y^{38} + C_{659} x^{32} y^{40} + C_{660} x^{30} y^{42} + C_{661} x^{28} y^{44} + C_{662} x^{26} y^{46} + C_{663} x^{24} y^{48} + C_{664} x^{22} y^{50} + C_{665} x^{20} y^{52} + C_{666} x^{18} y^{54} + C_{667} x^{16} y^{56} + C_{668} x^{14} y^{58} + C_{669} x^{12} y^{60} + C_{670} x^{10} y^{62} + C_{671} x^8 y^{64} + C_{672} x^6 y^{66} + C_{673} x^4 y^{68} + C_{674} x^2 y^{70} + C_{675} y^{74} + C_{676} x^{74} + C_{677} x^{72} y^2 + C_{678} x^{70} y^4 + C_{679} x^{68} y^6 + C_{680} x^{66} y^8 + C_{681} x^{64} y^{10} + C_{682} x^{62} y^{12} + C_{683} x^{60} y^{14} + C_{684} x^{58} y^{16} + C_{685} x^{56} y^{18} + C_{686} x^{54} y^{20} + C_{687} x^{52} y^{22} + C_{688} x^{50} y^{24} + C_{689} x^{48} y^{26} + C_{690} x^{46} y^{28} + C_{691} x^{44} y^{30} + C_{692} x^{42} y^{32} + C_{693} x^{40} y^{34} + C_{694} x^{38} y^{36} + C_{695} x^{36} y^{38} + C_{696} x^{34} y^{40} + C_{697} x^{32} y^{42} + C_{698} x^{30} y^{44} + C_{699} x^{28} y^{46} + C_{700} x^{26} y^{48} + C_{701} x^{24} y^{50} + C_{702} x^{22} y^{52} + C_{703} x^{20} y^{54} + C_{704} x^{18} y^{56} + C_{705} x^{16} y^{58} + C_{706} x^{14} y^{60} + C_{70$$

している。各面の順番は基準軸光線が屈折・反射を受ける順番に設定している。

【0048】従って基準軸は設定された各面の順番に沿って屈折若しくは反射の法則に従ってその方向を変化させつつ、最終的に像面の中心に到達する。

【0049】本発明の各実施例の光学系を構成するチルト面は基本的にすべてが同一面内でチルトしている。そこで、絶対座標系の各軸を以下のように定める。

【0050】Z軸：原点を通り第2面R2に向かう基準軸  
Y軸：原点を通りチルト面内（図1の紙面内）でZ軸に対して反時計回りに90°をなす直線

X軸：原点を通りZ、Y各軸に垂直な直線（図1の紙面に垂直な直線）

又、光学系を構成する第i面の面形状を表すには、絶対座標系にてその面の形状を表記するより、基準軸と第i面が交差する点を原点とするローカル座標系を設定して、ローカル座標系でその面の面形状を表した方が形状を認識する上で理解し易い為、本発明の構成データを表示する実施例では第i面の面形状をローカル座標系で表わす。

【0051】また、第i面のYZ面内でのチルト角は絶対座標系のZ軸に対して反時計回り方向を正とした角度θ<sub>i</sub>（単位°）で表す。よって、本発明の実施例では各面のローカル座標の原点は図1中のYZ平面上にある。またXZおよびXY面内での面の偏心はない。さらに、第i面のローカル座標(x, y, z)のy, z軸は絶対座標系(X, Y, Z)に対してYZ面内で角度θ<sub>i</sub>傾いており、具体的には以下のように設定する。

【0052】z軸：ローカル座標の原点を通り、絶対座標系のZ方向に対しYZ面内において反時計方向に角度θ<sub>i</sub>をなす直線

y軸：ローカル座標の原点を通り、z方向に対しYZ面内において反時計方向に90°をなす直線

x軸：ローカル座標の原点を通り、YZ面に対し垂直な直線

また、D<sub>i</sub>は第i面と第(i+1)面のローカル座標の原点間の間隔を表すスカラー量、N<sub>di</sub>、ν<sub>di</sub>は第i面と第(i+1)面間の媒質の屈折率とアッペ数である。

【0053】また、本発明の実施例では光学系の断面図及び数値データを示す。

【0054】本発明の実施例は球面及び回転非対称の非球面を有している。その内の球面部分は球面形状としてその曲率半径R<sub>i</sub>を記している。曲率半径R<sub>i</sub>の符号は第1面から像面に進む基準軸（図1中の一点鎖線）に沿って曲率中心が第1面側にある場合をマイナス、結像面側にある場合をプラスとする。

【0055】球面は以下の式で表される形状である：

【0056】

【数1】

$$z = \frac{(x^2 + y^2)/R_i}{1 + \{1 - (x^2 + y^2)/R_i^2\}^{1/2}}$$

また、本発明の光学系は少なくとも回転非対称な非球面を一面以上有し、その形状は以下の式により表す：

$$A = (a+b) \cdot (y^2 \cdot \cos^2 t + x^2)$$

$$B = 2a \cdot b \cdot \cos t [1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (2a \cdot b)\} + \{1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (a \cdot b)\} - \{y^2 / (a \cdot b)\} - \{4a \cdot b \cdot \cos^2 t + (a+b)^2 \sin^2 t\} x^2 / (4a^2 b^2 \cos^2 t)\}^{1/2}]$$

10 として

$$z = A/B + C_0 y^2 + C_2 x^2 + C_0 y^4 + C_2 x^4 + C_0 y^2 x^2 + C_2 x^2 y^2 + C_4 x^4$$

上記曲面式はxに関して偶数次の項のみであるため、上記曲面式により規定される曲面はyz面を対称面とする面对称な形状である。さらに以下の条件が満たされる場合はxz面に対して対称な形状を表す。

$$【0057】C_0 = C_2 = 0, \quad t = 0$$

さらに

$$C_0 = C_2, \quad C_4 = C_6 = C_8 = C_{10} = C_{12} / 2$$

20 が満たされる場合は回転対称な形状を表す。以上の条件を満たさない場合は非回転対称な形状である。

【0058】なお、本発明の実施例においては、すべてC<sub>0</sub> = C<sub>2</sub> = 0となっており、2次曲面の基本形状に高次非対称非球面を加えて構成している。

【0059】なお、本発明の各実施例においては図1に示すように、その第1面は絞りである。又、水平半画角u<sub>h</sub>とは図1のYZ面内において絞りR1に入射する光束の最大画角、垂直半画角u<sub>v</sub>とはXZ面内において絞りR1に入射する光束の最大画角である。また、第1面である絞りR1の直径を絞り径として示している。これは光学系の明るさに関係する。なお、入射瞳は第1面に位置するため上記絞り径は入射瞳径に等しい。

【0060】又、像面上での有効像範囲を像サイズとして示す。像サイズはローカル座標のy方向のサイズを水平、x方向のサイズを垂直とした矩形領域で表している。

【0061】又、実施例には光学系のサイズを示している。そのサイズは光線有効径によって定められるサイズである。

40 【0062】又、構成データを挙げている実施例についてはその横収差図を示す。横収差図は各実施例について、絞りR1への水平入射角、垂直入射角が夫々(u<sub>v</sub>, u<sub>h</sub>), (0, u<sub>h</sub>), (-u<sub>v</sub>, u<sub>h</sub>), (u<sub>v</sub>, 0), (0, 0), (-u<sub>v</sub>, 0)となる入射角の光束の横収差を示す。横収差図においては、横軸は瞳への入射高さを表し、縦軸は収差量を表している。各実施例とも基本的に各面がyz面を対称面とする面对称の形状となっている為、横収差図においても垂直画角のプラス、マイナス方向は同一となるので、図の簡略化の為に、マイナス方向の横収差図は省略している。

50 【0063】以下、各実施例について説明する。

【0064】[実施例1] 図2、図3は本発明の実施例1の光学系のYZ面内での断面図である。本実施例は水平画角52.6度、垂直画角40.6度の撮影光学系である。図2には光路も図示している。図3は瞳光線（軸外主光線）＊

＊の光路を図示している。本実施例の構成データは次のとおりである。

【0065】  
【外1】

水平半面角 26.3  
垂直半面角 20.3  
絞り径 2.0

像サイズ 水平4mm × 垂直3mm

光学系のサイズ(X×Y×Z) = 10.4x 27.4x 21.2

i	Yi	Zi	$\theta_i$	Di	Ndi	$\nu_{di}$	
1	0.00	0.00	0.00	3.40	1		絞り
2	0.00	3.40	0.00	7.00	1.51633	64.15	屈折面
3	0.00	10.40	25.00	10.00	1.51633	64.15	反射面
4	-7.66	3.97	10.00	10.00	1.51633	64.15	反射面
5	-12.66	12.63	10.00	8.50	1.51633	64.15	反射面
6	-19.17	7.17	25.00	7.00	1.51633	64.15	反射面
7	-19.17	14.17	0.00	7.07	1		屈折面
8	-19.17	21.24	0.00	0.00	1		像面

球面形状

R 1 面  $\infty$   
R 2 面 -4.887  
R 7 面 -6.524  
R 8 面  $\infty$

【0066】

【外2】

## 非球面形状

R 3 面  $a = -1.61839e+01$   $b = -1.25685e+01$   $t = 2.59881e+01$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = -1.38328e-04$   $C_{21} = 4.61307e-04$

$C_{04} = 9.02763e-08$   $C_{22} = 7.64906e-05$   $C_{40} = 1.02169e-05$

R 4 面  $a = -2.50732e+00$   $b = 2.52739e+00$   $t = -8.04837e+01$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = 1.15553e-03$   $C_{21} = 4.86323e-03$

$C_{04} = -1.25972e-04$   $C_{22} = -2.57791e-04$   $C_{40} = -6.89833e-04$

R 5 面  $a = -9.53779e+01$   $b = -3.53371e+01$   $t = 4.35207e+01$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = 3.53074e-04$   $C_{21} = -1.26967e-03$

$C_{04} = -2.02832e-05$   $C_{22} = -3.46921e-04$   $C_{40} = -8.12941e-05$

R 6 面  $a = 5.05342e+00$   $b = -8.31188e+00$   $t = -2.24737e+01$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = -5.59866e-04$   $C_{21} = -1.17474e-03$

$C_{04} = -1.39401e-04$   $C_{22} = -2.09750e-04$   $C_{40} = -1.35370e-04$

図2において、10は複数の曲面反射面を有する光学素子でありガラス等の透明体で構成している。光学素子10の表面には物体からの光線の通過順に、負の屈折力を有する凹屈折面（入射面）R2及び凹面鏡R3・反射面R4・反射面R5・凹面鏡R6の四つの反射面及び正の屈折力を有する凸屈折面（射出面）R7を形成している。R1は光学素子10の物体側に配置した絞り（入射瞳）、3は水晶ローパスフィルターや赤外カットフィルター等の光学補正板、R10は最終結像面であり、CCD等の撮像素子（撮像媒体）の撮像面が位置する。5は撮影光学系の基準軸である。

【0067】なお、2つの屈折面はいずれも回転対称の球面であり、すべての反射面はYZ平面のみに対して対称な面である。

【0068】次に本実施例における結像作用を説明する。物体からの光束1は、絞りR1により入射光量を規制された後、光学素子10の入射面R2に入射し、面R3,R4で反射された後、面R4近傍で一旦結像し、次いで面R5,R6で次々に反射して行き、射出面R7から射出し、光学補正板3を介して最終結像面R10上に再結像する。物体光線は面R4近傍で中間結像し、瞳光線は面R5と面R6との間で中間結像する。

【0069】本実施例では、光学素子10に入射する基準軸の方向とこれから射出する基準軸の方向は平行でかつ同一方向である。また、入出射を含む基準軸はすべて

紙面内（YZ平面）に載っている。

【0070】この様に光学素子10は、入出射面による屈折力と、その中で複数の曲面反射鏡による屈折力によって、所望の光学性能を有する全体として正の屈折力を有するレンズユニットとして機能している。

【0071】本実施例においては、近距離物体へのフォーカシングは光学系全体を撮像素子の撮像面R10に対して移動させることで行う。とくに本実施例においては、光学素子10に入射する基準軸の方向と光学系10から射出する基準軸の方向は平行でかつ同一方向であるため、光学系全体を射出する基準軸の方向（Z軸方向）に平行に移動させる事で、従来のレンズ系と同様にフォーカシング動作を行うことができる。

【0072】また、本実施例の光学系の横収差図を図4に示す。本実施例はバランスの良い収差補正状態が得られている。

【0073】本実施例の効果を説明する。

【0074】入射瞳が光学素子10の第1面R2近傍にある本実施例の場合、とくに物体側から数えて第1の曲面の反射面R3に収収作用を与えていることが光学系の小型化に寄与している。これは瞳光線（主光線）を入射面に近い段階で中間結像させて光学系をさらに薄型にするため、絞りR1を出た軸外主光線が大きく拡がらない内に収収させ、光学系の広角化による第1反射面R3以降の各面有効径の大型化を抑えている。

30

40

50

【0075】特に、図3に示すように第1反射面R3を反射面からみた見かけの絞り中心6'（面R3への入射瞳）と光学系内部の屈曲した基準軸が含まれるyz面上にある仮想点8'を焦点とする回転楕円面としているので、軸外主光線を内部の点8にほぼ無収差で結像させることが\*

$$\begin{aligned} a \cdot b > 0 \\ 0.9 < t/|t| < 1.5 \\ 0.9 < |a|/d < 2.0 \\ 0.9 < |b|/d < 2.0 \end{aligned}$$

ただし、dは基準軸にそって測った絞りの中心から第1反射面R3までの距離である。

【0078】条件式(1)は、ベース面形状の性質を規定するものでこの値が正の場合にはyz平面内に2つの焦点がある回転楕円面となり、一方の焦点から出た光をもう一方の焦点に実像で、ほぼ無収差で結像させることができる。a,b,tは楕円面の2つの焦点位置を表す。

【0079】条件式(2)は、片方の焦点が第1反射面R3から見たこの面の入射瞳6'になるための条件で条件式(2)の上限・下限を外れると基準軸上に一方の焦点が乗らず、軸外光線が内部の点で結像しないか、結像しても収差の発生が大きくなってしまい良くない。

【0080】条件式(3)も同様で、上限・下限をはずれると第1反射面R3と焦点との距離が第1反射面R3からこの面の入射瞳6'までの距離と大きく異なるためやはり、軸外光線が内部の点で結像しないか、結像しても収差の発生が大きくなってしまい良くない。

【0081】条件式(4)は光学系の薄型化と収差補正を両立させるための条件で、dをZ方向の光学系の幅と考え、それに比べて中間結像点の位置を規制するものである。上限値をこえて、第一反射面R3の射出側の焦点が長いと軸外光束がなかなか収束せず光学系を広面角化した場合に軸外光束の拡がりによって光学系が大型化するので良くない。逆に、下限値をこえると第一反射面の屈折力が強くなりすぎるため特に軸外で収差が発生するので良くない。

【0082】以上が回転楕円面である第1反射面R3の形状条件の説明である。

【0083】本実施例においては、光学素子10の入射面R2および射出面R7が屈折力（光学的パワー）を有している。本実施例では入射面R2を軸外主光線についてコンセントリックな凹面にすることで軸外諸収差の発生を低減している。又、射出面R7は凸面に構成しており、これによりバックフォーカスが長くなりすぎるのを防止している。一方、もし入射面R2を凸面にすると、軸外光線がこの面で収束するので、第一反射面R3が大きくなるのを防止できる。

【0084】また、射出面R7の形状は、この面への軸外主光線（瞳光線）をその入射角に応じて射出側（像側）で略平行、つまりテレセントリックにするように決めている。これは、CCDなどの撮像素子を用いた場合には、

\*でき、これによって光学素子10の薄型化が図れるとともに軸外の収差を初期段階で抑えている。

【0076】これについて説明する。

【0077】第1反射面R3のベース形状を表すa,b,tは以下の条件を満たす事が望ましい

$$\begin{aligned} (1) \\ (2) \\ (3) \\ (4) \end{aligned}$$

10 CCDのカラーフィルターと受光面とにギャップがあるため、撮像素子に対する入射角によって色分離性能が変化するのを防止するのに有効である。光学系を像側にテレセントリックにすれば、軸上・軸外光束の主光線はともに光軸に略平行となり、CCDへの入射角は全受光面にわたって略一定となる。

【0085】さらに、本実施例においては反射面が対称面を1つしか有していない面であるのに対して入出射面の形状は基準軸に対して回転対称な形状である。これは、光学系を製作・評価する場合に基準軸を正確に測定できる様にするためである。また、屈折面を回転対称とすることで非対称な色収差の発生を低減させることができる。

【0086】本実施例には更に以下に記す効果がある。

【0087】図28に示す従来の光学系では、入射側と射出側の反射面は屈折力を有してはいるが、その間の反射は単に光束を導くいわゆるライトガイドの役割しか果たしていない。本実施例においては、屈折力を持った少なくとも3つの反射面を一体に形成する事で、光軸を折り曲げる機能と収差補正の機能を合わせ持つ、コンパクトで自由な形状が達成できる性能の良い撮影光学系が得られる。

【0088】本実施例においては、物体光線が位置7で、又瞳光線が位置8でそれぞれ中間結像している。このように本実施例では従来の撮影光学系に比べて入射面に近い段階で夫々の光線を中間結像させることにより、絞りR1より像側において物体光線・瞳光線で有効範囲のきまる各面の大きさを抑制し、光学系の断面の大きさを小さくすることに成功している。

【0089】さらに、本実施例においては光学系内部で屈曲している基準軸5は同一平面内、即ち図2の紙面内に含まれている。これによって、物体光線・瞳光線の素子内部での中間結像とあいまって紙面に垂直な方向(X方向)の大きさを小さくしている。

【0090】光学系を構成する各反射面は、入出射する基準軸と反射面との交点における法線が、基準軸の方向と一致しない所謂偏心反射面である。これは従来のミラー光学系において発生するケラレを防止するとともに、これによってより自由な配置をとることができ、スペース効率がよく、コンパクトで自由な形状の光学素子を構成することができる。

21

【0091】さらに各反射面の形状は直交する二つの面(yz面、xz面)内で曲率半径が異なる面である。これは各反射面を偏心配置した事によって生じる偏心収差を押さえるためであるが、さらにこの反射面を非対称な面とする事により、諸収差を良好に補正し所望の光学性能を達成している。

【0092】また、本実施例では絞りR1を入射面R2の直前に配置している。従来の撮影光学系の場合、絞り(入射瞳)を光学系の内部に配置する場合が多く、絞りから見て最も物体側に位置する入射面までの間隔が大きいほど、入射面の光線有効径は画角の拡大に伴って大きくなってしまいう問題点があった。本実施例においては、絞りR1を撮影光学系の物体側(光学系の光束入射側)に配置\*

水平半画角 31.7  
垂直半画角 24.8  
絞り径 2.0

像サイズ 水平4mm × 垂直3mm

光学系のサイズ(X×Y×Z) = 9.0x 26.3x 15.2

i	Yi	Zi	$\theta_i$	Di	Ndi	$\nu_{di}$	
1	0.00	0.00	0.00	1.82	1		絞り
2	0.00	1.82	0.00	7.49	1.58310	30.20	屈折面
3	0.00	9.30	18.49	9.86	1.58310	30.20	反射面
4	-5.93	1.43	3.23	9.30	1.58310	30.20	反射面
5	-10.65	9.44	-12.55	8.90	1.58310	30.20	反射面
6	-11.50	0.68	-22.91	9.39	1.58310	30.20	反射面
7	-18.82	6.46	-25.63	8.02	1.58310	30.20	反射面
8	-18.82	-1.56	-0.01	3.68	1		屈折面
9	-18.82	-5.24	-0.01	0.00	1		像面

球面形状

R 1 面  $\infty$   
R 2 面 -7.648  
R 8 面 10.757  
R 9 面  $\infty$

【0096】

22

\*することにより、光学系を広角化した時に生じる撮影光学系の大型化を抑えている。

【0093】反射光学系の特徴として、各面の配置を組み合わせることで入射する基準軸と射出する基準軸の方向をさまざまに変化させることができる。

【0094】[実施例2]図5は本発明の実施例2の光学系のYZ面内での断面図である。本実施例は水平画角63.4度、垂直画角49.6度の撮影光学系である。図5は光路も図示している。本実施例の構成データを以下に示す。

【0095】  
【外3】

【外4】

## 非球面形状

R 3 面  $a = -1.09716e+01$   $b = -1.25390e+01$   $t = 2.15145e+01$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = 6.87152e-05$   $C_{21} = -1.21962e-04$

$C_{04} = 3.59209e-05$   $C_{22} = 1.02173e-04$   $C_{40} = 4.95588e-05$

R 4 面  $a = -2.34468e+00$   $b = 4.88786e+00$   $t = -3.56094e+01$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = -4.48049e-03$   $C_{21} = -7.45433e-03$

$C_{04} = 1.81003e-03$   $C_{22} = 2.09229e-03$   $C_{40} = -8.28024e-04$

R 5 面  $a = -6.11985e+00$   $b = 1.70396e+01$   $t = -2.17033e+01$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = -3.23467e-04$   $C_{21} = -1.07985e-03$

$C_{04} = -3.70249e-05$   $C_{22} = -1.74689e-04$   $C_{40} = -1.21908e-04$

R 6 面  $a = \infty$   $b = \infty$   $t = 0.$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = 1.10097e-03$   $C_{21} = -3.73963e-04$

$C_{04} = -1.59596e-04$   $C_{22} = -3.22152e-04$   $C_{40} = -1.74291e-04$

R 7 面  $a = -2.11332e+01$   $b = -1.31315e+03$   $t = 1.70335e+00$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = 8.29145e-05$   $C_{21} = -1.11374e-03$

$C_{04} = -2.50522e-05$   $C_{22} = -5.28330e-05$   $C_{40} = -2.91711e-05$

図5中、10は複数の曲面反射面を有する光学素子でありガラス等の透明体で構成している。光学素子10の表面には物体からの光線の通過順に、負の屈折力を有する凹屈折面（入射面）R2及び凹面鏡R3・凸面鏡R4・凹面鏡R5・反射面R6・凹面鏡R7の五つの反射面及び正の屈折力を有する凸屈折面（射出面）R8を形成している。R1は光学素子10の物体側に配置した絞り、R9は最終結像面であり、CCD等の撮像素子の撮像面が位置する。5は撮影光学系の基準軸である。

【0097】なお、2つの屈折面はいずれも回転対称の球面であり、すべての反射面はYZ平面のみに対して対称な面である。

【0098】次に本実施例における結像作用を説明する。物体からの光束1は、絞り（入射瞳）R1により入射光量を規制された後、光学素子10の入射面R2に入射し、面R3で反射された後、面R3とR4の間で一旦結像し、次いで面R4、R5、R6、R7で次々に反射して行き、射出面R8から射出し、最終結像面R9上に再結像する。

【0099】この様に光学素子10は、入射面による

屈折力と、その中での複数の曲面反射鏡による屈折力によって、所望の光学性能を有する全体として正の屈折力を有するレンズユニットとして機能している。

【0100】本実施例では、光学素子10に入射する基準軸の方向とこれから射出する基準軸の方向は平行でかつ反対方向を向いている。又、入出射を含むすべての基準軸は紙面（YZ平面）に載っている。

【0101】本実施例においては、近距離物体へのフォーカシングは光学系全体を撮像素子の撮像面R9に対して移動させることで行う。とくに本実施例においては、光学素子10に入射する基準軸の方向と光学系10から射出する基準軸の方向は平行であるため、光学系全体を射出する基準軸の方向（Z軸方向）に平行に移動させる事で、従来のレンズ系と同様にフォーカシング動作を行うことができる。

【0102】また、本実施例の光学系の横収差図を図6に示す。

【0103】本実施例の効果を説明する。本実施例は実施例1と同じ効果を有する。

【0104】その他に本実施例では光学素子10の入出射面はともに光学素子の片側に配置されているためx方向の薄型化とともに、z軸(+)方向の全長の小さい光学系を構成することができる。

【0105】本実施例は実施例1に比べて基準軸光線の方向を反転させるために反射面を一面追加した構成となっているため、各面での屈折力と非対称収差の補正能力の配分を適切に行うことで結像性能の向上や更なる広画\*

水平半画角 20.0  
垂直半画角 28.0  
絞り径 2.5

像サイズ 水平3mm×垂直4mm

光学系のサイズ(X×Y×Z)= 12.0x 32.7x 12.9

i	Yi	Zi	$\theta_i$	Di	Ndi	$\nu_{di}$	
1	0.00	0.00	0.00	2.25	1		絞り
2	0.00	2.25	0.00	6.75	1.51833	64.15	屈折面
3	0.00	9.00	25.18	8.75	1.51833	64.15	反射面
4	-6.74	3.42	17.48	8.75	1.51833	64.15	反射面
5	-9.06	11.85	15.54	8.75	1.51833	64.15	反射面
6	-15.41	5.83	0.49	8.75	1.51833	64.15	反射面
7	-21.65	11.96	-18.56	9.00	1.51833	64.15	反射面
8	-22.96	3.06	-40.55	5.80	1.51833	64.15	反射面
9	-28.76	3.11	-89.47	1.00	1		屈折面
10	-29.76	3.12	-89.47	0.00	1		像面

球面形状

R1面  $\infty$   
R2面 9.799  
R9面 -17.732  
R10面  $\infty$

\*角化が達成できる。

【0106】[実施例3]図7は本発明の実施例3の光学系のYZ面内での断面図である。本実施例は水平画角40.0度、垂直画角52.0度の撮影光学系である。図7は光路も図示している。本実施例の構成データを以下に示す。

【0107】  
【外5】

【0108】

【外6】



## 非球面形状

R 3 面  $a = -1.00000e+02$   $b = -8.74864e+00$   $t = 1.88037e+01$   
 $C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$   
 $C_{03} = -6.48391e-04$   $C_{21} = -1.07411e-03$   
 $C_{04} = 7.88198e-05$   $C_{22} = 2.68977e-04$   $C_{40} = 3.64351e-05$

R 4 面  $a = -1.36388e+01$   $b = -7.75615e+01$   $t = 5.21719e+01$   
 $C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$   
 $C_{03} = 2.95862e-05$   $C_{21} = -3.33476e-03$   
 $C_{04} = 5.14020e-04$   $C_{22} = -2.71521e-04$   $C_{40} = -3.72473e-04$

R 5 面  $a = -1.27617e+01$   $b = -2.39346e+01$   $t = 4.41911e+01$   
 $C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$   
 $C_{03} = 1.05543e-04$   $C_{21} = -1.60047e-04$   
 $C_{04} = 5.77804e-08$   $C_{22} = -4.74244e-05$   $C_{40} = -4.86554e-06$

R 6 面  $a = -9.22255e+00$   $b = -4.68183e+01$   $t = 6.55811e+01$   
 $C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$   
 $C_{03} = -2.85339e-07$   $C_{21} = -3.51430e-06$   
 $C_{04} = -8.24508e-07$   $C_{22} = -3.64252e-06$   $C_{40} = 2.73565e-06$

R 7 面  $a = -1.44157e+01$   $b = -2.52331e+01$   $t = 3.36030e+01$   
 $C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$   
 $C_{03} = 4.53839e-07$   $C_{21} = 1.49252e-06$   
 $C_{04} = 1.60060e-07$   $C_{22} = -3.37563e-07$   $C_{40} = 1.77901e-07$

R 8 面  $a = 6.88885e+02$   $b = 1.26527e+04$   $t = -8.69057e+01$   
 $C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$   
 $C_{03} = -6.58580e-06$   $C_{21} = -1.96913e-05$   
 $C_{04} = -1.39036e-05$   $C_{22} = 6.01016e-06$   $C_{40} = -1.21001e-05$

図7中、10は複数の曲面反射面を有する光学素子でありガラス等の透明体で構成している。光学素子10の表面には物体からの光線の通過順に、正の屈折力を有する凸屈折面（入射面）R2及び凹面鏡R3・凸面鏡R4・凹面鏡R5・反射面R6・凹面鏡R7・凸面鏡R8の六つの反射面及び正の屈折力を有する凸屈折面（射出面）R9を形成している。R1は光学素子10の物体側に配置した絞り（入射瞳）、R10は最終結像面であり、CCD等の撮像素子の撮像面が位置する。5は撮影光学系の基準軸である。

【0109】なお、2つの屈折面はいずれも回転対称の球面であり、すべての反射面はYZ平面のみに対して対称な面である。

【0110】次に本実施例の結像作用を説明する。物体からの光束1は、絞り（入射瞳）R1により入射光量を規制された後、光学素子10の入射面R2に入射し、面R3で反射された後、面R3とR4の間で一旦結像し、次いで面R4、R5、R6、R7、R8で次々に反射して行き、射出面R9から射出し、最終結像面R10上に再結像する。

【0111】この様に光学素子10は、入射面による屈折力と、その中での複数の曲面反射鏡による屈折力によって、所望の光学性能を有する全体として正の屈折力を有するレンズユニットとして機能している。また、本実施例の横収差図を図8に示す。

【0112】本実施例では、光学素子10に入射する基準軸の方向とこれから射出する基準軸の方向は直交している。又、入出射を含むすべての基準軸は紙面（YZ平面）に載っている。

【0113】このように構成する事で、光学系のバックフォーカスが占める部分やCCDなどの撮像素子のパッケージ・回路部分等の厚みをY方向に纏めることが可能となるため、X方向の薄型化とともに図7にDで示すZ方向の薄型化も達成できる。

【0114】〔実施例4〕図9は本発明の実施例4の光学系のYZ面内での断面図である。本実施例は水平画角63.4度、垂直画角49.6度の撮影光学系である。図9は光路も図示している。本実施例の構成データを以下に示

す。

【 0 1 1 5 】

\* 【 外 7 】

\*

水平半面角 31.7  
 垂直半面角 24.8  
 絞り径 2.0

像サイズ 水平4mm × 垂直3mm

光学系のサイズ(X×Y ×Z) = 8.4x 24.5x 12.3

i	Yi	Zi	$\theta_i$	Di	Ndi	$\nu_{di}$	
1	0.00	0.00	0.00	2.06	1		絞り
2	0.00	2.06	0.00	6.50	1.51633	64.15	屈折面
3	0.00	8.56	26.67	9.00	1.51633	64.15	反射面
4	-7.22	3.19	17.66	8.00	1.51633	64.15	反射面
5	-9.69	10.80	5.98	8.00	1.51633	64.15	反射面
6	-13.69	3.87	-2.50	7.00	1.51633	64.15	反射面
7	-17.70	9.60	-34.98	0.50	1		屈折面
8	-18.83	11.21	-34.98	1.46	1		像面

球面形状

R 1 面  $\infty$ 

R 2 面 -13.016

R 7 面 -4.355

R 8 面  $\infty$ 

【 0 1 1 6 】

【 外 8 】

## 非球面形状

R 3 面  $a = -1.11482e+01$   $b = -1.16711e+01$   $t = 2.85172e+01$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = -3.97235e-05$   $C_{21} = 4.30551e-04$

$C_{04} = 4.26947e-05$   $C_{22} = 1.68530e-04$   $C_{40} = 8.54092e-05$

R 4 面  $a = 3.43416e+00$   $b = -2.32147e+00$   $t = 3.90060e+02$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = -2.26822e-03$   $C_{21} = 4.62823e-03$

$C_{04} = 9.93668e-04$   $C_{22} = -8.22145e-04$   $C_{40} = 9.87903e-04$

R 5 面  $a = -1.89949e+01$   $b = -1.16993e+01$   $t = 2.64906e+01$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = 4.15152e-04$   $C_{21} = 2.65197e-04$

$C_{04} = 1.20436e-05$   $C_{22} = -4.92467e-05$   $C_{40} = -2.64871e-05$

R 6 面  $a = 2.61019e+01$   $b = 2.31498e+02$   $t = 2.24466e+00$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = 2.27686e-03$   $C_{21} = 2.95018e-03$

$C_{04} = -4.85715e-04$   $C_{22} = -9.91109e-04$   $C_{40} = -6.39821e-04$

図9中、10は複数の曲面反射面を有する光学素子でありガラス等の透明体で構成している。光学素子10の表面には物体からの光線の通過順に、負の屈折力を有する凹屈折面（入射面）R2及び凹面鏡R3・凸面鏡R4・凹面鏡R5・反射面R6の四つの反射面及び正の屈折力を有する凸屈折面（射出面）R7を形成している。R1は光学素子10の物体側に配置した絞り（入射瞳）、R8は最終結像面であり、CCD等の撮像素子の撮像面が位置する。5は撮影光学系の基準軸である。

【0117】なお、2つの屈折面はいずれも回転対称の球面であり、すべての反射面はYZ平面のみに対して対称な面である。

【0118】次に本実施例の結像作用を説明する。物体からの光束1は、絞り（入射瞳）R1により入射光量を規制された後、光学素子10の入射面R2に入射し、面R3で反射された後、面R3とR4の間で一旦結像し、次いで面R4、R5、R6で次々に反射して行き、射出面R7から射出し、最終結像面R8上に再結像する。

【0119】この様に光学素子10は、入出射面による屈折力と、その中の複数の曲面反射鏡による屈折力によって、所望の光学性能を有する全体として正の屈折力を有するレンズユニットとして機能している。

【0120】本実施例の横収差図を図10に示す。

【0121】本実施例では、光学素子10に入射する基準軸の方向とこれから射出する基準軸は約45°の角度を

なしている。これは各反射面への光線の入射角が小さくなる様に、各面での光線が干渉しない程度に基準軸を折り曲げた結果、射出基準軸が入射基準軸に対して平行もしくは垂直にならない例である。

【0122】この場合でも、光学系全体のX方向への薄型化を維持するために、入射基準軸と射出基準軸を含む基準軸光線はすべて同一平面(YZ平面)上にある。

【0123】[実施例5] 図11は本発明の実施例5の光学系のXZ面の断面図及びその側面図である。図12は実施例5の斜視図であり、光路も図示している。本実施例は水平面角56.8度、垂直面角44度の撮影光学系である。

【0124】本実施例にかぎり、各面のティルトはXZ面内、XY面内の2種類あるため、ローカル座標系の定義を変えている。まず、第i面のXZ面内でのチルト角をY軸正方向からみて時計回り方向を正とした角度 $\phi_i$ （単位degree）で表し、XY面内でのチルト角をZ軸正方向からみて反時計回り方向を正とした角度 $\theta_i$ （単位degree）で表す。さらに、第i面のローカル座標 $(x, y, z)$ の各軸は絶対座標系 $(X, Y, Z)$ に対して、まず原点を $(X_i, Y_i, Z_i)$ に移動した後に、XZ面内で角度 $\phi_i$ 傾け、最後にXY面内で角度 $\theta_i$ 傾けたものとし具体的には以下のように設定するものとする。

【0125】原点 $(X_i, Y_i, Z_i)$

z：第1面の光軸方向であるZ方向に対しXZ面内で角度

30

40

50

$\phi_i$ 、そしてXY面内で角度 $\theta_i$ 傾けた方向

\* 向

y : z 方向に対しYZ面内において反時計方向に90°をなす方向

本実施例の構成データは次のとおりである。

【0126】

x : 反射面の頂点位置を原点とし、YZ面に対し垂直な方\*

【外9】

水平半面角 28.4

垂直半面角 22.0

絞り径 2.0

像サイズ 水平4mm × 垂直3mm

光学系のサイズ(X×Y×Z) = 12.6x 28.5x 10.6

i	Xi	Yi	Zi	$\theta_i$	$\phi_i$	Di	Ndi	$\nu_{di}$
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1	絞り
2	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	2.88	1.58310	30.20屈折面
3	0.00	0.00	4.38	0.00	45.00	8.12	1.58310	30.20反射面
4	-8.12	0.00	4.38	-22.51	90.00	9.86	1.58310	30.20反射面
5	-1.15	-6.97	4.38	-4.56	90.00	9.30	1.58310	30.20反射面
6	-8.69	-12.43	4.38	15.90	90.00	9.50	1.58310	30.20反射面
7	0.79	-13.11	4.38	25.90	90.00	10.00	1.58310	30.20反射面
8	-4.82	-21.39	4.38	27.95	90.00	8.02	1.58310	30.20反射面
9	3.20	-21.39	4.38	0.00	90.00	0.07	1.58310	30.20屈折面
10	3.30	-21.39	4.38	0.00	90.00	0.00	1	像面

球面形状

R 1面  $\infty$

R 2面 9.000

R 3面  $\infty$

R 9面 -20.232

R10面  $\infty$

【0127】

【外10】

35

36

## 非球面形状

R 4面  $a = 3.82478e+01$   $b = 7.86525e+00$   $t = -3.37224e+01$  $C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$  $C_{03} = 7.79171e-04$   $C_{21} = 5.74381e-04$  $C_{04} = -1.10731e-04$   $C_{22} = -3.68495e-04$   $C_{40} = -2.03734e-04$ R 5面  $a = 4.33006e+00$   $b = -1.13123e+01$   $t = 4.85692e+01$  $C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$  $C_{03} = 1.37457e-03$   $C_{21} = 1.56506e-02$  $C_{04} = -4.94422e-04$   $C_{22} = -3.75514e-04$   $C_{40} = 5.75694e-04$ R 6面  $a = 7.06881e+00$   $b = -2.86427e+01$   $t = 2.35496e+01$  $C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$  $C_{03} = 2.20424e-04$   $C_{21} = 1.90803e-03$  $C_{04} = -2.45384e-05$   $C_{22} = -2.20910e-05$   $C_{40} = 6.55653e-05$ R 7面  $a = \infty$   $b = \infty$   $t = 0.$  $C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$  $C_{03} = -1.25739e-03$   $C_{21} = 2.00682e-03$  $C_{04} = 6.21721e-05$   $C_{22} = -1.62119e-04$   $C_{40} = 2.82891e-05$ R 8面  $a = -4.42534e+01$   $b = 1.08452e+01$   $t = 2.48660e+00$  $C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$  $C_{03} = -5.93354e-04$   $C_{21} = 1.95331e-03$  $C_{04} = -2.52041e-05$   $C_{22} = -2.46364e-04$   $C_{40} = -6.80191e-05$ 

図11中、10は1つの平面反射面と複数の曲面反射面を有する光学素子でありガラス等の透明体で構成している。光学素子10の表面には物体からの光線の通過順に、正の屈折力を有する凸屈折面（入射面）R2及び平面反射面R3・凹面鏡R4・凸面鏡R5・凹面鏡R6・反射面R7・凹面鏡R8の六つの反射面及び正の屈折力を有する凸屈折面（射出面）R9を形成している。R1は光学素子10の物体側に配置した絞り（入射瞳）、R10は最終結像面であり、CCD等の撮像素子の撮像面が位置する。5は撮影光学系の基準軸である。

【0128】なお、2つの屈折面はいずれも回転対称の球面であり、すべての曲面の反射面は対称面を1つだけ有する面である。

【0129】次に本実施例における結像作用を説明する。Z(-)方向から来た物体からの光束1は、絞り（入射瞳）R1により入射光量を規制された後、光学素子10の入射面R2に入射して収斂作用を受け、次いで平面反射面R3で反射されてX(-)方向に偏向された後、面R4で反射されて一旦結像し、次いで面R5,R6,R7,R8で次々に反射し

て行き、射出面R9からX(+)方向に射出し、最終結像面R10上に再結像する。

【0130】物体光線は面R4と面R5との間で中間結像し、瞳光線は、面R6と面R7との間で中間結像する。

【0131】この様に光学素子10は、入射面による屈折力と、その中での複数の曲面反射鏡による屈折力によって、所望の光学性能を有する全体として正の屈折力を有するレンズユニットとして機能している。

【0132】本実施例の光学系の横収差図を図13に示す。

【0133】本実施例の場合、光学素子10の入射面R2に比較的強い正の屈折力を持たせることで、軸上、軸外の光束を集光させて平面反射面R3が大きくなるのを防止し、ひいては光学系全体のさらなる薄型化を達成している。

【0134】本実施例においては、入射基準軸（Z軸）に対して垂直な面（XY平面）内で反射面R3以降の基準軸光線を屈曲させている。（光学素子10中の基準軸の長さの略80%がXY平面に載っている）。

【0135】いままでの実施例においては入射基準軸、射出基準軸を含むすべての基準軸がある平面(YZ面)に含まれていたが、撮影光学系のレイアウトの関係上、入射基準軸が該平面と平行ではない場合が好ましい場合がある。そこで本実施例の場合、他の実施例と同様に光学系内の屈曲した基準軸が含まれる面と垂直な方向(この場合はZ軸方向)では薄型化が可能であることから、撮影方向に対して薄型の撮影光学系が構成でき、カメラ等に組み込む際の自由度が更に広がる。

【0136】本実施例においては、入射基準軸(Z軸)に対して垂直な面(XY平面)内で殆どその他の基準軸光線を屈曲させている。即ち本実施例では光学素子10中の基準軸の長さの略80%がXY平面内に載るようにしているが、これによって光学素子10のZ方向の薄型化が達成されている。

【0137】本実施例においては光学素子内の殆どの基準軸が載っている平面に対して入射基準軸を垂直に配置したが、射出基準軸を垂直にしてもよい。その際には、射出面の直前に平面反射面を配置すれば良い。この場合、殆どの基準軸が載っている平面に垂直な方向への薄\*20

水平半画角 26.0

垂直半画角 20.0

絞り径 2.0

像サイズ 水平4mm×垂直3mm

光学系のサイズ(X×Y×Z)= 11.4x 32.5x 14.2

i	Yi	Zi	$\theta_i$	Di	Ndi	$\nu_{di}$
1	0.00	0.00	0.00	12.39	1	絞り
2	0.00	12.39	24.93	12.60	1	反射面
3	-9.63	4.27	4.87	10.80	1	反射面
4	-16.59	12.53	-15.13	10.80	1	反射面
5	-18.45	1.89	-32.08	8.68	1	反射面
6	-26.79	4.28	-74.03	0.00	1	像面

球面形状

R1面  $\infty$

R6面  $\infty$

【0142】

\*型化が達成できるとともに、撮像素子レイアウト上の自由度が生まれる。

【0138】さらに入射基準軸・射出基準軸ともに、殆どの基準軸が載っている平面に対して垂直に配置することも可能であり、自由なレイアウトを取りつつ入射光軸を平行にすることで、従来のレンズ系と同様なフォーカシング動作を行う事ができる。

【0139】〔実施例6〕図14は本発明の実施例6の光学系のYZ面内の断面図である。本実施例は水平画角52.0度、垂直画角40.0度の撮影光学系である。図14には光路も図示している。これまでの実施例は、すべて透明体の表面に屈折面や反射面が形成された光学素子を使用していたが、複数の反射面を中空のブロックの内部に表面鏡で構成しても良い。本実施例は中空ブロックの内部に鏡面を設けて光学素子を構成した実施例である。

【0140】本実施例の構成データは次のとおりである。

【0141】

【外11】

【外12】

## 非球面形状

R 2 面  $a = -1.27078e+01$   $b = -1.61563e+01$   $t = 3.43678e+01$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = -9.19140e-05$   $C_{21} = 1.68009e-04$

$C_{04} = 1.32075e-05$   $C_{22} = 4.77170e-05$   $C_{40} = 9.84328e-05$

R 3 面  $a = -8.00318e+00$   $b = 1.94833e+01$   $t = -6.57313e+01$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = -9.87875e-04$   $C_{21} = 2.02373e-03$

$C_{04} = 1.55491e-04$   $C_{22} = 7.57581e-05$   $C_{40} = 3.56041e-03$

R 4 面  $a = -1.28016e+01$   $b = -1.17328e+02$   $t = -4.11271e+01$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = 6.04887e-04$   $C_{21} = -3.51858e-04$

$C_{04} = 1.69212e-04$   $C_{22} = 2.77107e-05$   $C_{40} = -2.25094e-05$

R 5 面  $a = 1.28067e+01$   $b = 2.82424e+02$   $t = 4.14909e-01$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = 3.02802e-05$   $C_{21} = 2.82991e-04$

$C_{04} = 2.98306e-05$   $C_{22} = -6.80814e-05$   $C_{40} = -1.08283e-04$

図14中、60は内部に複数の曲面より成る反射面を形成した中空のブロック（光学素子）である。光学素子60の内部表面には物体からの光線の通過順に、凹面鏡R2・反射面R3・反射面R4・凹面鏡R5の四つの反射面を形成している。R1は光学素子60の物体側に配置した絞り（入射瞳）、R6は最終結像面であり、CCD等の撮像素子の撮像面が位置する。5は撮影光学系の基準軸である。すべての基準軸は紙面（YZ平面）に載っている。

【0143】なお、すべての反射面はYZ平面のみに対して対称な面である。

【0144】次に本実施例の結像作用を説明する。物体からの光束1は、絞り（入射瞳）R1により入射光量を規制された後、光学素子60の部分に入射し、反射面R2で反射された後、反射面R3近傍で一旦結像し、次いで面R3、R4、R5で次々に反射して後、光学素子60の部分から

射出し、最終結像面R6上に再結像する。  
【0145】物体光線は面R2と面R3との間で中間結像し、最終結像面上に再び縮小結像する。瞳光線は面R3付近で中間結像する。

【0146】この様に光学素子60は、その中での複数

の曲面反射鏡による屈折力によって、所望の光学性能を有する全体として正の屈折力を有するレンズユニットとして機能している。

【0147】本実施例の光学系の横収差図を図15に示す。本実施例においては表面反射鏡のみを用いており、屈折面がないので色収差が発生しないという利点がある。本実施例のように表面鏡を用いる場合には、面相互の位置の誤差の発生を防ぐために、各反射面を一体に形成する事が好ましい。

【0148】〔実施例7〕図16は本発明の実施例7の光学系のYZ面内の断面図である。本実施例は水平画角52.0度、垂直画角40.0度の撮影光学系である。図16には光路も図示している。この実施例は、複数の表面反射鏡を形成した中空のブロック（光学素子）と2つの屈折レンズによって光学系を構成する例である。

【0149】本実施例の構成データは次のとおりである。

【0150】

【外13】

41  
水平半面角 26.0  
垂直半面角 20.0  
絞り径 2.5

42

像サイズ 水平4mm ×垂直3mm  
光学系のサイズ(X×Y ×Z) = 11.2x 40.9x 17.5

i	Yi	Zi	$\theta_i$	Di	Ndi	$\nu_{di}$	
1	0.00	0.00	0.00	3.39	1		絞り
2	0.00	3.39	0.00	2.21	1.75500	52.32	屈折面
3	0.00	5.60	0.00	8.75	1		屈折面
4	0.00	14.35	23.67	13.12	1		反射面
5	-9.65	5.46	5.35	11.88	1		反射面
6	-16.74	14.98	-12.65	12.00	1		反射面
7	-19.10	3.22	-18.65	8.75	1		反射面
8	-25.67	9.00	-48.65	3.96	1.75500	52.32	屈折面
9	-28.65	11.62	-48.65	6.80	1		屈折面
10	-33.75	16.10	-48.65	0.00	1		像面

球面形状

R 1 面  $\infty$   
R 2 面 -4.933  
R 3 面 -5.275  
R 8 面 10.191  
R 9 面 -48.987  
R10 面  $\infty$

{ 0 1 5 1 }

{ 外 1 4 }



## 非球面形状

R 4 面  $a = -2.18731e+01$   $b = -1.68559e+01$   $t = 2.45932e+01$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = -6.14092e-05$   $C_{21} = 8.03325e-05$

$C_{04} = -3.45169e-06$   $C_{22} = 3.74779e-05$   $C_{40} = -9.72565e-06$

R 5 面  $a = -4.96405e+00$   $b = 8.31430e+00$   $t = -4.21818e+01$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = -2.11160e-04$   $C_{21} = 6.81127e-04$

$C_{04} = 4.71978e-06$   $C_{22} = 1.98254e-04$   $C_{40} = -5.40751e-04$

R 6 面  $a = -1.27294e+01$   $b = 2.11554e+02$   $t = -2.40317e+01$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = 6.89343e-05$   $C_{21} = 5.46114e-05$

$C_{04} = -6.72350e-06$   $C_{22} = -1.46912e-05$   $C_{40} = -2.50225e-05$

R 7 面  $a = 3.73721e+00$   $b = -3.91247e+00$   $t = -2.95187e+01$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = 4.49626e-04$   $C_{21} = 5.03152e-04$

$C_{04} = -7.69860e-05$   $C_{22} = -7.23646e-05$   $C_{40} = -4.95296e-05$

図16中、60は内部に複数の曲面反射面を形成した中空のブロック（光学素子）である。71、72は夫々凸レンズ（屈折光学系）であり、夫々光学素子60の入口及び出口に配置している。光学素子60の内部表面には物体からの光線の通過順に、凹面鏡R4・凸面鏡R5・凹面鏡R6・反射面R7の四つの反射面を形成している。R1は凸レンズ71の物体側に配置した絞り（入射瞳）、R10は最終結像面であり、CCD等の撮像素子の撮像面が位置する。5は撮影光学系の基準軸である。すべての基準軸は紙面（YZ平面）に載っている。

【0152】なお、光学素子60、凸レンズ71、72等は光学系70の一要素を構成している。

【0153】次に本実施例における結像作用を説明する。物体からの光束1は、絞り（入射瞳）R1により入射光量を規制された後、凸レンズ71の屈折面R2、R3で屈折して収斂し、光学素子70の部分に入射し、反射面R4で反射された後、反射面R5近傍で一旦結像し、次いで面R5、R6、R7で次々に反射した後、光学素子70の部分から射出して凸レンズ72に入射し、屈折面R8、R9で屈折した後、最終結像面R10上に再結像する。物体光線は面R4と面R5との間で中間結像し、次いで最終結像面R10上に縮小結像する。瞳光線は面R6と面R7との間で中間結像する。

【0154】この様に光学系70は、光学素子60中の複数の曲面反射鏡による屈折力及び2つの凸レンズ7

1、72の屈折力によって、所望の光学性能を有する全体として正の屈折力を有するレンズユニットとして機能している。

【0155】本実施例の光学系の横収差図を図17に示す。

【0156】本実施例では、中空鏡面を用いた光学素子60の入射側・射出側にそれぞれ屈折系を配することで、空気中での反射では屈折率が小さい(=1.0)ことから生ずる屈折力の不足を補っている。

【0157】また、表面反射鏡を使用するとその面へ付着したゴミ等は撮影時に画面上のかげとして写り易いが、本実施例では2つの凸レンズ71、72と光学素子60を一体に形成することによりゴミ等の侵入を防止している。

【0158】また、本実施例では光学系の光入射側に凸レンズを配して光線を収束させて、光学素子60の第一反射面R4が大きくなるのを防止しており、又光学系の光射出側にもやはり凸レンズ72を配することで屈折力を補っている。

【0159】〔実施例8〕図18は本発明の実施例8の光学系のYZ面内の断面図である。本実施例は水平画角5.2.6度、垂直画角40.6度の撮影光学系である。図18には光路も図示している。

【0160】本実施例の構成データは次のとおりである。

【0161】

(24)  
45  
\* \* 【外15】  
水平半面角 26.3  
垂直半面角 20.3  
絞り径 2.0

特開平8-292371  
46

像サイズ 水平4mm × 垂直3mm  
光学系のサイズ(X×Y×Z) = 10.2x 29.5x 21.5

i	Yi	Zi	$\theta_i$	Di	Ndi	$\nu_{di}$	
1	0.00	0.00	0.00	4.00	1		絞り
2	0.00	4.00	0.00	6.00	1.51633	64.15	屈折面
3	0.00	10.00	25.00	10.00	1.51633	64.15	反射面
4	-7.66	3.57	10.00	10.00	1.51633	64.15	反射面
5	-12.66	12.23	10.00	10.00	1.51633	64.15	反射面
6	-20.32	5.80	25.00	7.00	1.51633	64.15	反射面
7	-20.32	12.80	0.00	8.73	1		屈折面
8	-20.32	21.54	0.00	0.00	1		像面

球面形状

R 1 面  $\infty$   
R 2 面 -4.887  
R 7 面 50.000  
R 8 面  $\infty$

【0162】

【外16】

## 非球面形状

R 3 面  $a = -1.25474e+01$   $b = -1.33487e+01$   $t = 2.51430e+01$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = -2.62139e-04$   $C_{21} = 4.52298e-04$

$C_{04} = -8.34221e-06$   $C_{22} = 4.34287e-05$   $C_{40} = 6.55986e-06$

R 4 面  $a = -1.99702e+00$   $b = 2.11270e+00$   $t = -6.34728e+01$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = -1.47470e-03$   $C_{21} = 4.94307e-03$

$C_{04} = 1.81131e-04$   $C_{22} = -1.92667e-04$   $C_{40} = 1.31369e-04$

R 5 面  $a = 9.60134e+00$   $b = -9.43206e+00$   $t = -1.72001e+00$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = 1.56729e-03$   $C_{21} = 6.80826e-04$

$C_{04} = 1.88025e-04$   $C_{22} = -1.68825e-04$   $C_{40} = 2.53692e-04$

R 6 面  $a = 1.23961e+01$   $b = 4.88671e+01$   $t = -2.51796e+01$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = 5.13451e-05$   $C_{21} = -2.64192e-04$

$C_{04} = -5.09712e-06$   $C_{22} = 5.90352e-06$   $C_{40} = 1.54707e-05$

図18中、10は2つの屈折面と複数の曲面反射面を有する光学素子でありガラス等の透明体で構成している。光学素子10の表面には物体からの光線の通過順に、負の屈折力を有する凹屈折面（入射面）R2及び凹面鏡R3・反射面R4・反射面R5・凹面鏡R6の四つの反射面及び負の屈折力を有する凹屈折面（射出面）R7を形成している。R1は光学素子10の物体側に配置した絞り（入射瞳）、R8は最終結像面であり、CCD等の撮像素子の撮像面が位置する。5は撮影光学系の基準軸である。すべての基準軸は紙面(YZ平面)に載っている。

【0163】なお、2つの屈折面はいずれも回転対称の球面であり、すべての面はYZ平面のみに対して対称な面である。

【0164】次に本実施例における結像作用を説明する。Z(-)方向から来た物体からの光束1は、絞り（入射瞳）R1により入射光量を規制された後、光学素子10の入射面R2に入射して発散作用を受け、次いで凹面鏡R3で反射されて一旦結像し、次いで面R4,R5,R6で次々に反射して行き、射出面R7から射出し、最終結像面R8上に再結像する。

【0165】物体光線は面R4近傍で中間結像し、瞳光線

は、面R5近傍で中間結像する。

【0166】この様に光学素子10は、入射面による屈折力と、その中で複数の曲面反射鏡による屈折力によって、所望の光学性能を有する全体として正の屈折力を有するレンズユニットとして機能している。

【0167】本実施例の光学系の横収差図を図19に示す。

【0168】本実施例では入射面である面R2を球面の凹屈折面にし、軸外主光線について物体側にコンセントリックにして軸外諸収差の発生を低減している。又、射出面である面R7も球面の凹屈折面として軸上光線について像側にコンセントリックにすることで球面収差、軸上色収差を抑えている。

【0169】[実施例9] 図20は本発明の実施例9の光学系のYZ面内の断面図である。本実施例は水平画角63.4°、垂直画角49.6°の撮影光学系である。図20には光路も図示している。光学系の構成データは次のとおりである。

【0170】

【外17】

49  
水平半面角    31.7  
垂直半面角    24.8  
絞り径        2.0

像サイズ      水平4mm ×垂直3mm  
光学系のサイズ(X×Y ×Z) = 8.8x 28.5x 15.6

i	Yi	Zi	$\theta i$	Di	Ndi	$\nu di$	
1	0.00	0.00	0.00	1.50	1		絞り
2	0.00	1.50	0.00	11.00	1.58310	30.20	屈折面
3	0.00	12.50	22.51	9.86	1.58310	30.20	反射面
4	-6.97	5.53	4.56	9.30	1.58310	30.20	反射面
5	-12.43	13.07	-15.90	9.50	1.58310	30.20	反射面
6	-13.11	3.59	-25.90	10.00	1.58310	30.20	反射面
7	-21.39	9.20	-27.95	8.02	1.58310	30.20	反射面
8	-21.39	1.18	-0.01	3.02	1		屈折面
9	-21.38	-1.84	-0.01	0.00	1		像面

球面形状  
R 1 面    ∞  
R 2 面    9.000  
R 8 面    11.420  
R 9 面    ∞

## 非球面形状

R 3 面  $a = -1.42089e+01$   $b = -1.27971e+01$   $t = 2.34670e+01$   
 $C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$   
 $C_{03} = -1.21650e-04$   $C_{21} = 1.77751e-04$   
 $C_{04} = 1.02473e-04$   $C_{22} = 0.00000e+00$   $C_{40} = 1.17019e-04$

R 4 面  $a = -2.73896e+00$   $b = 5.70605e+00$   $t = -4.72249e+01$   
 $C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$   
 $C_{03} = -5.27069e-03$   $C_{21} = -1.70267e-02$   
 $C_{04} = 1.01639e-03$   $C_{22} = 3.49290e-03$   $C_{40} = -2.36127e-03$

R 5 面  $a = -7.00149e+00$   $b = 2.25899e+01$   $t = -2.54205e+01$   
 $C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$   
 $C_{03} = -5.00133e-04$   $C_{21} = -1.36126e-03$   
 $C_{04} = 9.37676e-06$   $C_{22} = 5.68911e-05$   $C_{40} = -7.68163e-05$

R 6 面  $a = \infty$   $b = \infty$   $t = 0.$   
 $C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$   
 $C_{03} = 2.96631e-04$   $C_{21} = -9.13393e-04$   
 $C_{04} = -3.54650e-05$   $C_{22} = 1.83483e-04$   $C_{40} = -8.42594e-05$

R 7 面  $a = 3.21010e+01$   $b = -1.20905e+01$   $t = 5.43506e+00$   
 $C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$   
 $C_{03} = -4.10032e-04$   $C_{21} = -1.36310e-03$   
 $C_{04} = 5.26092e-05$   $C_{22} = 3.62455e-04$   $C_{40} = 3.18477e-05$

図20中、10は複数の曲面反射面を有する光学素子でありガラス等の透明体で構成している。光学素子10の表面には物体からの光線の通過順に、正の屈折力を有する凸屈折面（入射面）R2及び凹面鏡R3・凸面鏡R4・凹面鏡R5・反射面R6・凹面鏡R7の五つの反射面及び正の屈折力を有する凸屈折面（射出面）R8を形成している。R1は光学素子10の物体側に配置した絞り（入射瞳）、R9は最終結像面であり、CCD等の撮像素子の撮像面が位置する。5は撮影光学系の基準軸である。

【0172】なお、2つの屈折面はいずれも回転対称の球面であり、すべての反射面はYZ平面のみに対して対称な面である。

【0173】次に本実施例における結像作用を説明する。物体からの光束1は、絞り（入射瞳）R1により入射光量を規制された後、光学素子10の入射面R2に入射し、面R3で反射された後一旦結像し、次いで面R4、R5、R6、R7で次々に反射して行き、射出面R8から射出し、最終結像面R9上に再結像する。物体光線は面R3と面R4との間で中間結像し、瞳光線は面R6近傍で中間結像する。

【0174】本実施例の光学系の横収差図を図21に示す。

【0175】本実施例では、光学素子10に入射する基準軸の方向とこれから射出する基準軸の方向は平行でかつ反対方向である。また、入出射を含む基準軸はすべて紙面内（YZ平面）に載っている。

【0176】この様に光学素子10は、入出射面による屈折力と、その中での複数の曲面反射鏡による屈折力によって、所望の光学性能を有する全体として正の屈折力を有するレンズユニットとして機能している。

【0177】本実施例においては、近距離物体へのフォーカシングは光学系全体を撮像素子の撮像面R9に対して移動させることで行う。とくに本実施例においては、光学素子10に入射する基準軸の方向と光学系10から射出する基準軸の方向は平行であるため、光学系全体を射出する基準軸の方向（Z軸方向）に平行に移動させる事で、従来のレンズ系と同様にフォーカシング動作を行うことができる。

【0178】本実施例では入射面である面R2を球面の凸

53

54

屈折面とすることにより、軸外主光線を収束させ広画角とした場合に第一反射面R3の有効径が大きくなるのを防止している。又射出面である面R8も球面の凸屈折面とし、バックフォーカスが長くなりすぎるのを防止するとともに、軸外主光線が像側テレセントリックになる様に軸外光線のコントロールを行っている。

\* 0 の光学系のYZ面内の断面図である。本実施例は水平画角63.4°、垂直画角49.6°の撮影光学系である。図22には光路も図示している。光学系の構成データは次のとおりである。

【 0 1 8 0 】  
【 外 1 9 】

【 0 1 7 9 】 【 実施例 1 0 】 図 2 2 は本発明の実施例 1 \*

水平半画角    31.7  
垂直半画角    24.8  
絞り径        2.0

像サイズ        水平4mm × 垂直3mm  
光学系のサイズ(X×Y ×Z) = 11.6x 31.7x 18.4

i	Yi	Zi	θi	Di	Ndi	νdi	
1	0.00	0.00	0.00	1.51	1		絞り
2	0.00	1.51	0.00	11.00	1.58310	30.20	屈折面
3	0.00	12.51	25.00	9.86	1.58310	30.20	反射面
4	-7.55	6.17	9.54	10.00	1.58310	30.20	反射面
5	-12.69	14.75	-8.92	10.00	1.58310	30.20	反射面
6	-14.95	5.01	-16.92	11.00	1.58310	30.20	反射面
7	-22.99	12.52	-23.46	9.63	1.58310	30.20	反射面
8	-22.99	2.90	-0.00	8.12	1		屈折面
9	-22.99	-3.22	-0.00	0.00	1		像面

球面形状  
R 1 面    ∞  
R 2 面    10.000  
R 8 面    -22.319  
R 9 面    ∞

【 0 1 8 1 】

【 外 2 0 】

## 非球面形状

R 3 面  $a = -1.62082e+01$   $b = -1.49848e+01$   $t = 2.55389e+01$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = 4.68179e-04$   $C_{21} = -2.57239e-04$

$C_{04} = 1.15267e-04$   $C_{22} = 9.16989e-05$   $C_{40} = -0.20857e-05$

R 4 面  $a = -6.04401e+00$   $b = 9.16117e+00$   $t = -4.83700e+01$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = 2.51981e-04$   $C_{21} = -2.34078e-03$

$C_{04} = 2.21931e-04$   $C_{22} = -4.14266e-05$   $C_{40} = -2.26683e-03$

R 5 面  $a = -1.88694e+01$   $b = 2.70209e+01$   $t = -7.32613e+01$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = 1.41397e-03$   $C_{21} = -3.28610e-03$

$C_{04} = 1.24323e-04$   $C_{22} = 2.04931e-04$   $C_{40} = -5.89334e-05$

R 6 面  $a = \infty$   $b = \infty$   $t = 0.$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = 1.84391e-04$   $C_{21} = -3.75729e-03$

$C_{04} = -3.27025e-05$   $C_{22} = -9.89759e-05$   $C_{40} = -1.40884e-04$

R 7 面  $a = 1.73176e+01$   $b = -7.42208e+00$   $t = -2.00865e+00$

$C_{02} = 0.$   $C_{20} = 0.$

$C_{03} = 1.40461e-04$   $C_{21} = -1.06651e-03$

$C_{04} = -4.75156e-05$   $C_{22} = -4.70293e-05$   $C_{40} = -4.21348e-05$

図 2 2 中、10 は複数の曲面反射面を有する光学素子でありガラス等の透明体で構成している。光学素子 10 の表面には物体からの光線の通過順に、正の屈折力を有する凸屈折面（入射面）R2 及び凹面鏡 R3・反射面 R4・反射面 R5・反射面 R6・凹面鏡 R7 の五つの反射面及び負の屈折力を有する凹屈折面（射出面）R8 を形成している。R1 は光学素子 10 の物体側に配置した絞り（入射瞳）、R9 は最終結像面であり、CCD 等の撮像素子の撮像面が位置する。5 は撮影光学系の基準軸である。

【0182】なお、2 つの屈折面はいずれも回転対称の球面であり、すべての反射面は YZ 平面のみに対して対称な面である。

【0183】次に本実施例における結像作用を説明する。物体からの光束 1 は、絞り（入射瞳）R1 により入射光量を規制された後、光学素子 10 の入射面 R2 に入射し、面 R3 で反射された後一旦結像し、次いで面 R4, R5, R6, R7 で次々に反射して行き、射出面 R8 から射出し、最終結像面 R9 上に再結像する。物体光線は面 R3 と面 R4 との間で中間結像し、瞳光線は面 R5 と面 R6 の間で中間結像す

る。

【0184】本実施例の光学系の横収差図を図 2 3 に示す。

【0185】本実施例では、光学素子 10 に入射する基準軸の方向とこれから射出する基準軸の方向は平行でかつ反対方向である。また、入出射を含む基準軸はすべて紙面内（YZ 平面）に載っている。

【0186】この様に光学素子 10 は、入出射面による屈折力と、その中での複数の曲面反射鏡による屈折力によって、所望の光学性能を有する全体として正の屈折力を有するレンズユニットとして機能している。

【0187】本実施例においては、近距離物体へのフォーカシングは光学系全体を撮像素子の撮像面 R9 に対して移動させることで行う。とくに本実施例においては、光学素子 10 に入射する基準軸の方向と光学系 10 から射出する基準軸の方向は平行であるため、光学系全体を射出する基準軸の方向（Z 軸方向）に平行に移動させることで、従来のレンズ系と同様にフォーカシング動作を行うことができる。

【0188】本実施例では入射面R2を球面の凸屈折面とすることにより、軸外主光線を収束させ広画角とした場合に第一反射面R3の有効径が大きくなるのを防止している。又射出面R8も球面の凹屈折面とし、軸上光線に対して長いバックフォーカスの確保、軸外光線に対しては像側にテレセントリックになるような配置としている。

【0189】以上、本発明の各実施例を説明したが、本発明を構成する光学素子は曲面より成る反射面を少なくとも3つ有することを構成要件としている。これは従来の例のように2つの曲面の偏心反射面では、軸上光束の収差補正はできても軸外光束に対する収差補正は極めて難しい。本発明では屈折力を持った少なくとも3つの偏心反射面を使用することにより2次元像面の全面に対して良好に収差を補正している。

【0190】又、透明体の表面に光の入射面と射出面、そして曲面より成る内面反射の反射面を少なくとも3つ設けた光学素子を用いた実施例1～5及び実施例8～10

	条件式(1) $a \cdot b > 0$	条件式(2) $t/\theta < 1.5$	条件式(3) $ a /d < 2.0$	条件式(4) $ b /d < 2.0$
実施例1	203.37	1.04	1.56	1.21
実施例2	137.57	1.16	1.18	1.35
実施例4	130.09	1.07	1.30	1.36
実施例6	205.31	1.38	1.03	1.30
実施例7	365.32	1.04	1.51	1.17
実施例8	167.49	1.01	1.25	1.33
実施例9	181.83	1.04	1.14	1.02
実施例10	242.88	1.02	1.30	1.20

なお、上記の実施例はすべて絞りが光学系の最も物体側に位置していたが、本発明の実施例では光学系の中に瞳が実際に結像するので、場合によっては該結像位置を境に光学素子を2つに分け、その間に絞りを設けても良い。この様にとすると入射瞳は上記実施例のように光学系の最も物体側に形成されることになり、上記実施例と等価の光学系となり、同じような効果が得られる。この時の入射瞳の位置としては物体からの光束が最初に入射する光学素子の物体側から数えて第1の曲面の反射面より物体側に形成すると以上の実施例と同じような効果が得られる。

【0193】

【発明の効果】本発明は以上のように各要素を設定することにより、特に複数の曲面や平面の反射面を一体的に形成した光学素子を用いてミラー光学系全体の小型化を図りつつ、又ミラー光学系にありがちな反射ミラーの配置精度（組立精度）を緩やかにした反射型の光学系及びそれを用いた撮像装置を達成することができる。

【0194】また、絞りを光学系の最も物体側に配置し、且つ該光学系の内部で物体及び瞳の像を少なくとも1回結像させる構成とすることにより、広画角の反射型の光学系でありながら、光学系の有効径の縮小化を図ること、そして該光学素子を構成する複数の反射面に適切な屈折力を与え、光学素子を構成する反射面を偏心配置

\*0においては、該光学素子の中の基準軸の長さの70%以上が1つの平面内にあるように構成している。具体的には実施例1～4及び実施例8～10では基準軸がすべて1つの平面内にある。これによって本発明の反射型の光学系は該平面に直交する方向について最も薄く構成できる。又、実施例5は殆どの基準軸が存在する平面に対して直交する方向から物体光束を入射させる例であるが、この場合も70%以上の基準軸が1つの平面内にあるので該平面に直交する方向についてごく薄い光学系を構成できる。なお、好ましくは、80%以上の基準軸が1つの平面内にあることが望ましい。

【0191】次に物体側から数えて第1の曲面の反射面についての条件式(1)～(4)に関する各実施例の値を以下に記す。

【0192】

【表1】

することにより、光学系内の光路を所望の形状に屈曲し、該光学系の所定方向の全長の短縮化を図った反射型の光学系及びそれを用いた撮像装置を達成することができる。

【0195】この他本発明によれば、

(2-1) 絞りが光学素子の前側にある若しくは入射瞳が光学素子の物体側より数えて第1の反射面より物体側にある本発明の実施例の場合、とくに光学素子の第1反射面に収斂作用を与えていることが光学系の小型化に寄与している。これは瞳光線（主光線）を入射面に近い段階で中間結像させて光学系をさらに薄型にするため、絞りをR1を出た軸外主光線が大きく拡がらない内に収斂させ、光学系の広角化による第1反射面R3以降の各面有効径の大型化を抑えているのである。

(2-2) 第1反射面を該反射面からみた見かけの絞り中心（該反射面に対する入射瞳位置）と光学系内部の屈曲した基準軸上にある点とを2つの焦点とする回転楕円面とすれば、軸外主光線をほぼ無収差で内部結像させることができ、これによって光学素子の薄型化が図れるとともに軸外の収差の増大を初期段階で抑えている。

(2-3) 本発明の実施例においては、光学素子の入射面および射出面に屈折力を与えると格別の効果が発生する。例えば入射面を軸外主光線についてコンセントリックな凹面にすることで軸外諸収差の発生を低減でき



る。又、射出面を凸面で構成すれば、これによりバックフォーカスが長くなりすぎるのを防止できる。一方、もし入射面を凸面にすると、軸外光線がこの面で収束するので、第一反射面の有効径が大きくなるのを防止できる。

(2-4) また、射出面の形状は、この面への軸外主光線(瞳光線)をその入射角に応じて射出側(像側)で略平行、つまりテレセントリックにするように決めても良い。これは、CCDなどの撮像素子を用いた場合には、CCDのカラーフィルターとその撮像面とにギャップがあるため、撮像素子に対する入射角によって色分離性能が変化するのを防止するのに有効である。光学系を像側にテレセントリックにすれば、軸上・軸外光束の主光線はともに光軸に略平行となり、CCDへの入射角は全受光面にわたって略一定となるからである。

(2-5) さらに、本発明の実施例においては反射面の殆どが対称面を1つだけ有する面であるのに対して入出射面の形状は基準軸に対して回転対称な形状である。これによって光学系を製作・評価する場合に基準軸を正確に測定できる。また、屈折面を回転対称とすることで非対称な色収差の発生を低減させることができる。

(2-6) 図28に示す従来の光学系では、入射側と射出側の反射面は屈折力を有してはいるが、その間の反射は単に光束を導くいわゆるライトガイドの役割しか果たしていない。本発明の実施例においては、屈折力を持った少なくとも3つの反射面を一体に形成する事で、光軸を折り曲げる機能と2次元像面に対する収差補正の機能を合わせ持つ、コンパクトで自由な形状が達成できる性能の良い撮影光学系が得られる。

(2-7) 本発明の実施例においては、物体光線と瞳光線とがそれぞれ中間結像している。そして従来の撮影光学系に比べて光学素子の入射面に近い段階で夫々の光線を中間結像させることにより、絞りより像側における各面の有効径の大きさを抑制し、光学系の断面の大きさを小さくすることに成功している。

(2-8) さらに、本発明の実施例においては光学素子内部で屈曲している基準軸は同一平面内、即ちYZ面内に含まれている。これによって、物体光線・瞳光線の素子内部での中間結像とあいまって紙面に垂直な方向(X方向)の大きさを小さくしている。

(2-9) 光学素子を構成する各反射面は、入出射する基準軸と反射面との交点における法線が、基準軸の方向と一致しない所謂偏心反射面である。これは従来のミラー光学系において発生するケラレを防止するとともに、これによってより自由な配置をとることができ、スペース効率がよく、コンパクトで自由な形状の光学素子を構成することができる。

(2-10) さらに各反射面の形状は直交する二つの面(yz面、xz面)内で曲率半径が異なる面である。これは各反射面を偏心配置した事によって生じる偏心収差を

押さえるためであるが、さらにこの反射面を非対称な面とする事により、諸収差を良好に補正し所望の光学性能を達成している。

(2-11) 本発明では、内部がガラス等の透明体で充填された光学素子で形成することによりモールド成型が可能となり、量産性や低コスト化を達成できる。一方、実施例として中空のブロックの内部に表面鏡を形成した光学素子を使用すれば、光学系の軽量化や色収差の低減を達成できる。

(2-12) 本発明では絞りを光学素子の入射面の直前に配置している若しくは入射瞳が光学素子の物体側より数えて第1の反射面より物体側にある。従来の撮影光学系の場合、絞りを光学系の内部に配置し、しかも入射瞳が光学系の奥深くにある場合が多く、絞りから見て最も物体側に位置する入射面までの間隔が大きいため、入射面の光線有効径は画角の拡大に伴って大きくなってしまいう問題点があった。本実施例においては、絞り若しくは入射瞳を光学素子の物体側(光学系の光束入射側)に配置することにより、光学系を広角化した時に生じる撮影光学系的大型化を抑えている。

(2-13) 光学系に入射する基準軸の方向と射出する基準軸の方向を平行にすると、光学系全体を入出射基準軸に平行に移動させることにより従来のレンズ系と同様にフォーカシング動作を行うことができ、しかもその時の撮影範囲の変化が生じない。

(2-14) 反射光学系の特徴として、各面の配置を組み合わせることで入射する基準軸と射出する基準軸の方向をさまざまに変化させることができる。

【0196】即ち、本発明によれば入射基準軸の向きと射出基準軸の向きの異なるさまざまな光学素子を構成できるので、撮影光学系を組み込むカメラ等の形態に合わせた自由度の高いレイアウトをとることが可能となる。等の少なくとも1つの効果を有した反射型の光学系及びそれを用いた撮像装置を達成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施例における座標系の説明図

【図2】 本発明の実施例1の光学系のYZ面内の断面図

【図3】 本発明の実施例1の光学系のYZ面内の断面図  
瞳光線の光路を図示

40 【図4】 実施例1の横収差図

【図5】 本発明の実施例2の光学系のYZ面内の断面図

【図6】 実施例2の横収差図

【図7】 本発明の実施例3の光学系のYZ面内の断面図

【図8】 実施例3の横収差図

【図9】 本発明の実施例4の光学系のYZ面内の断面図

【図10】 実施例4の横収差図

【図11】 本発明の実施例5の光学系のYX面内の断面図及び側面図

【図12】 実施例5の斜視図

50 【図13】 実施例5の横収差図

61

【図 14】 本発明の実施例 6 の光学系の YZ 面内の断面図

【図 15】 実施例 6 の横収差図

【図 16】 本発明の実施例 7 の光学系の YZ 面内の断面図

【図 17】 実施例 7 の横収差図

【図 18】 本発明の実施例 8 の光学系の YZ 面内の断面図

【図 19】 実施例 8 の横収差図

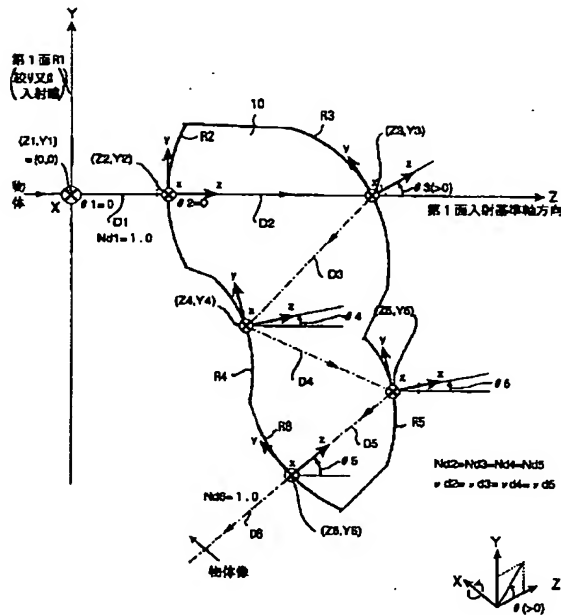
【図 20】 本発明の実施例 9 の光学系の YZ 面内の断面図

【図 21】 実施例 9 の横収差図

【図 22】 本発明の実施例 10 の光学系の YZ 面内の断面図

【図 23】 実施例 10 の横収差図

【図 1】



62

\* 【図 24】 カセグレン式反射望遠鏡の基本構成図。

【図 25】 ミラー光学系における、主光線を光軸から離しケラレを防止する第一の方法の説明図。

【図 26】 ミラー光学系における、主光線を光軸から離しケラレを防止する第二の方法の説明図。

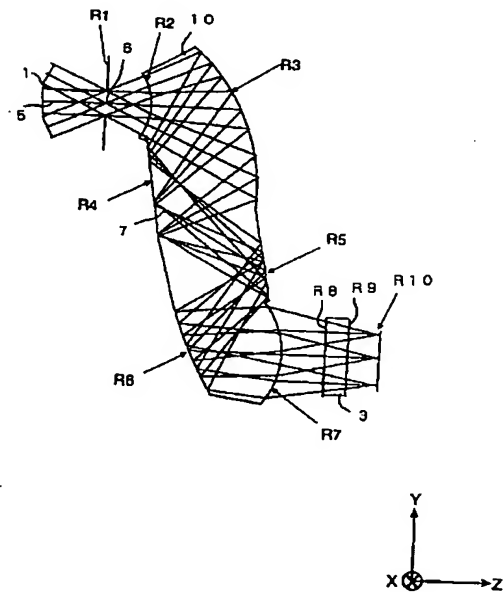
【図 27】 プリズム反射面に曲率を持った観察光学系の構成図。

【図 28】 他のプリズム反射面に曲率を持った観察光学系の構成図。

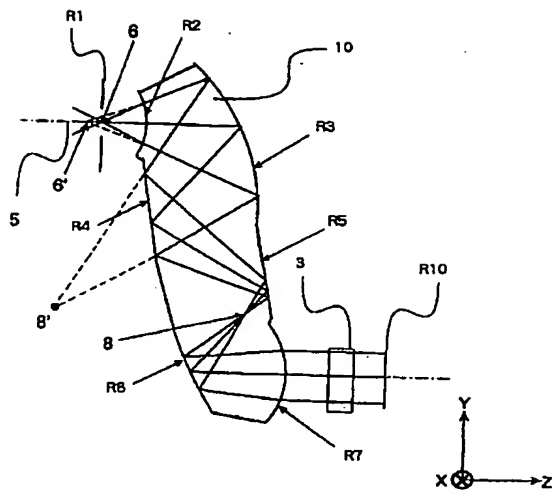
【符号の説明】

Ri	面
Ri	絞り
Di	基準軸に沿った面間隔
Ndi	屈折率
νdi	アッペ数

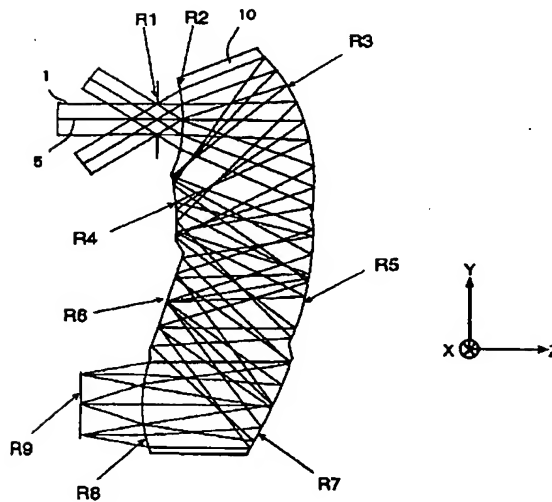
【図 2】



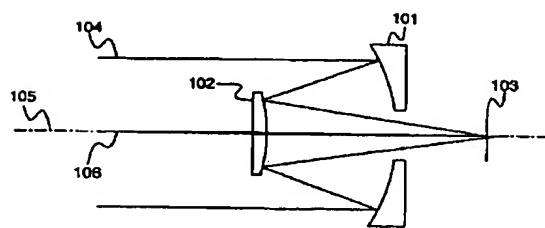
【図3】



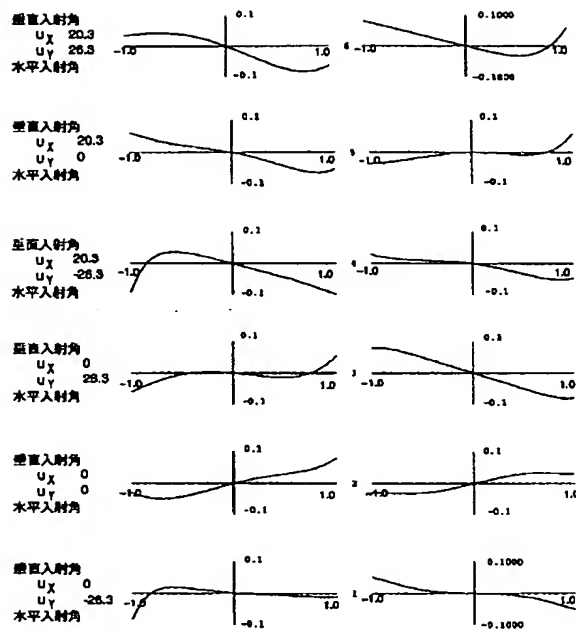
【図5】



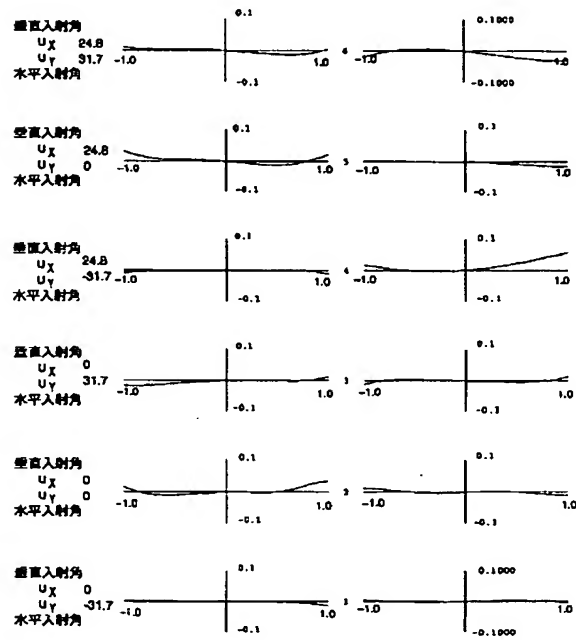
【図24】



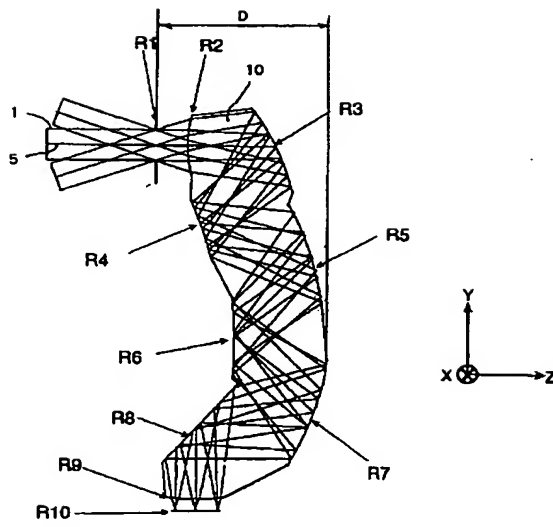
【図4】



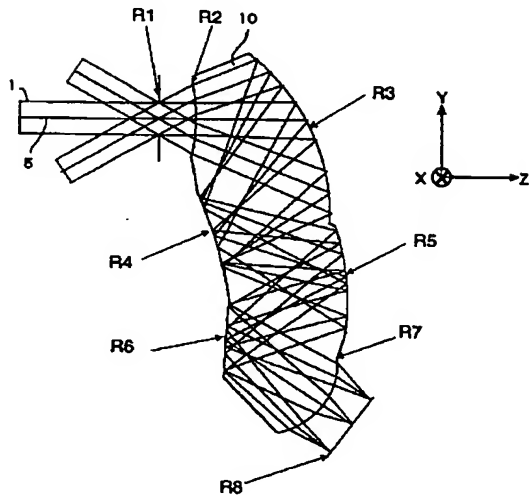
【図6】



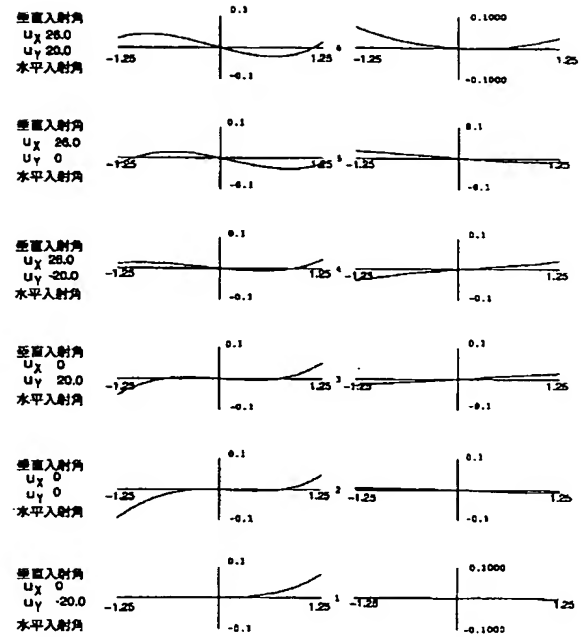
【図7】



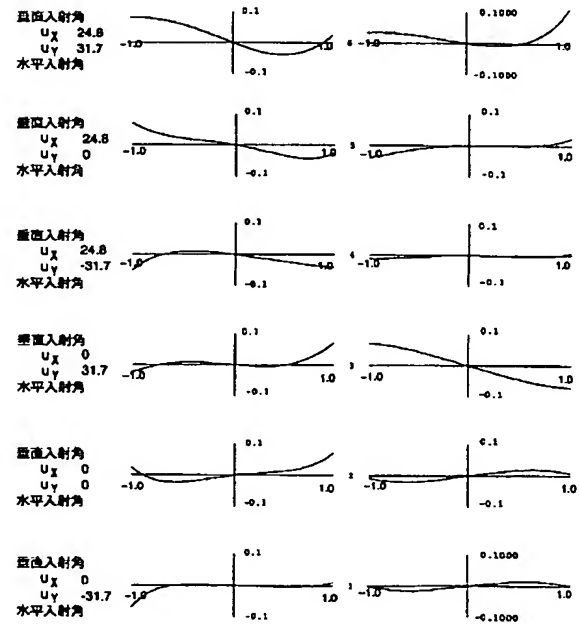
【図9】



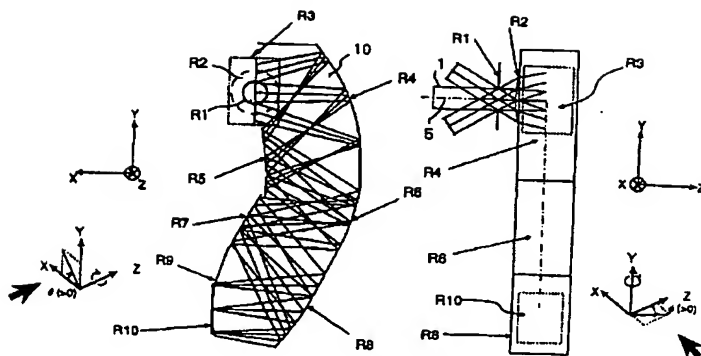
【図8】



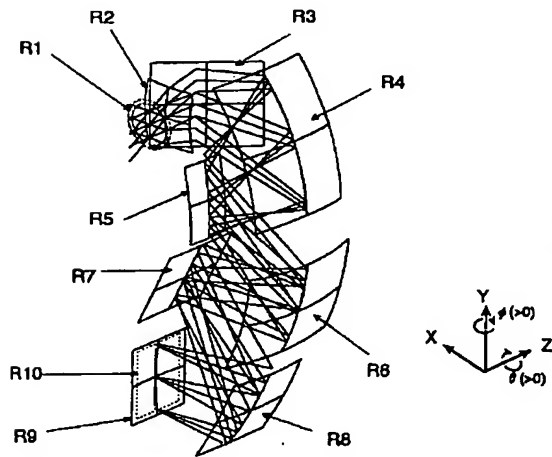
【図10】



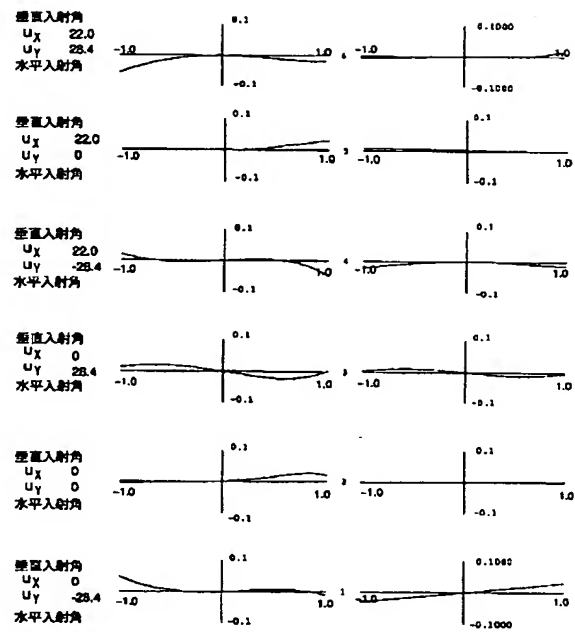
【図11】



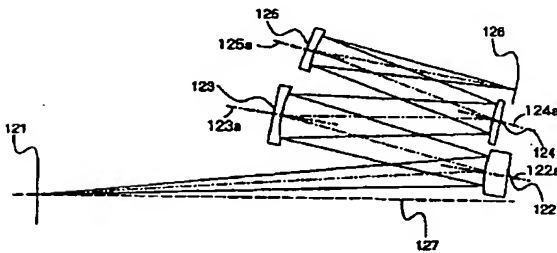
【図12】



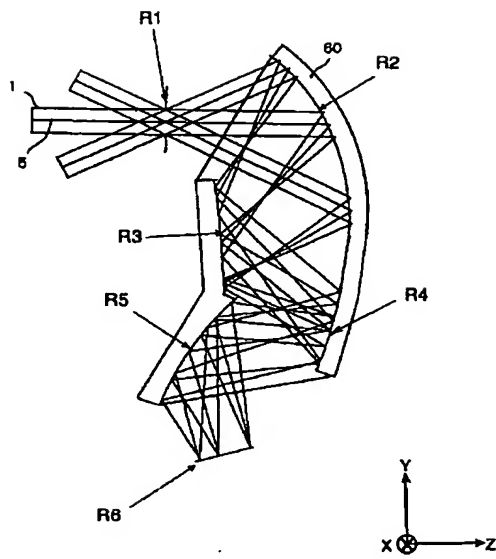
【図13】



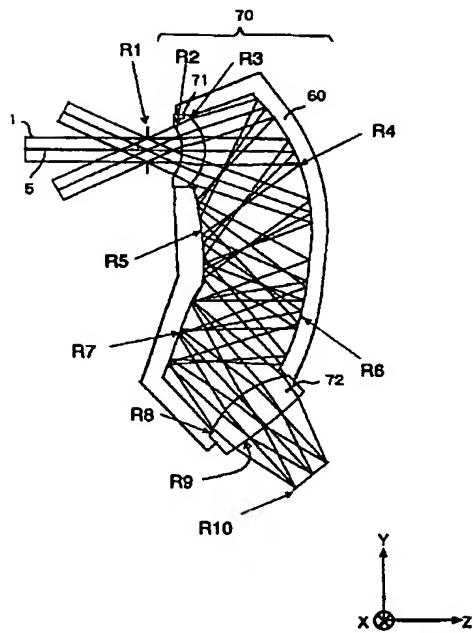
【図26】



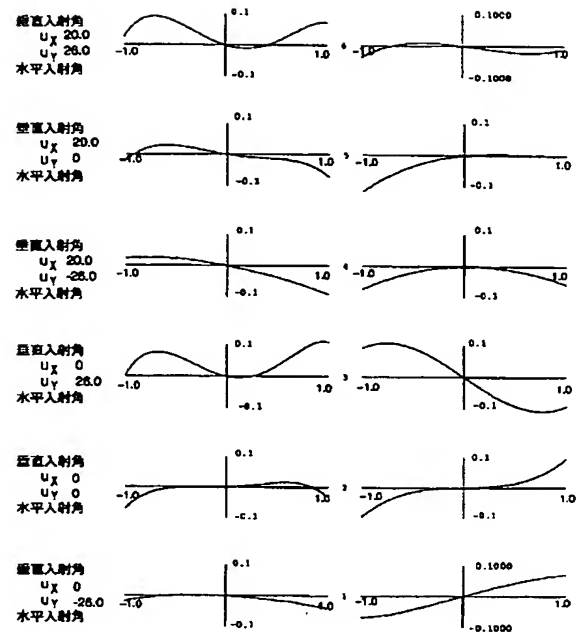
【図14】



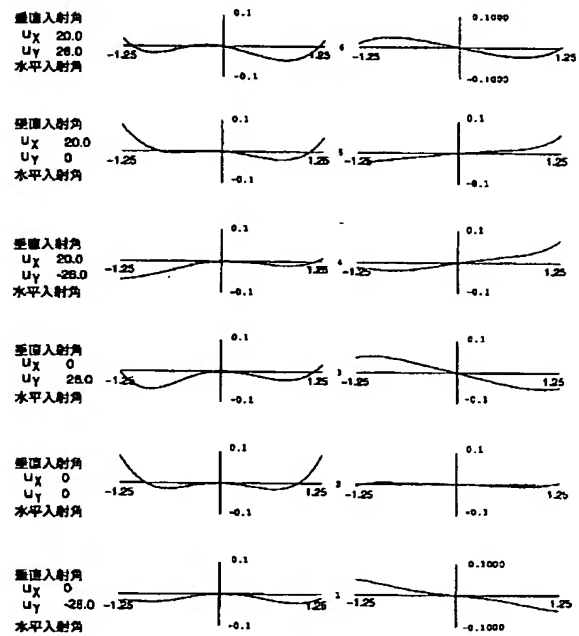
【図16】



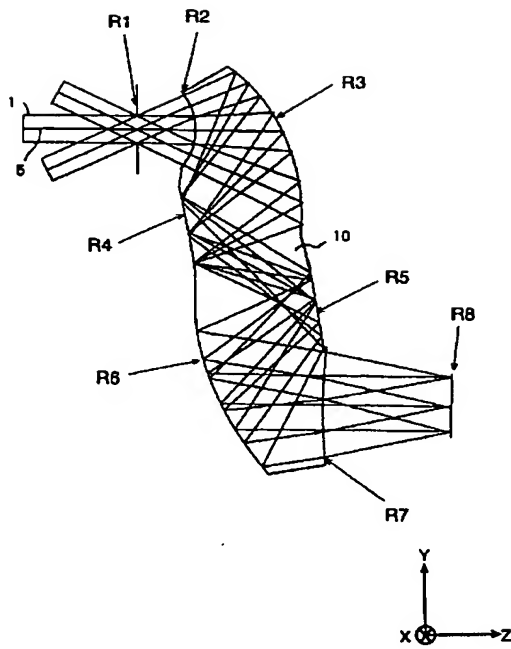
【図15】



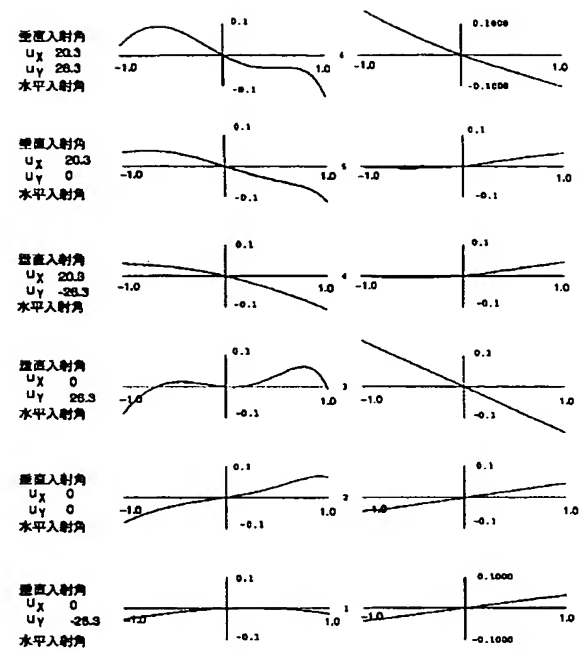
【図17】



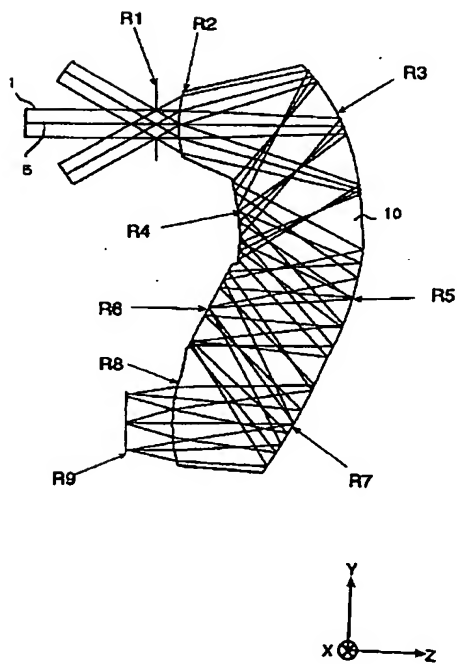
【図18】



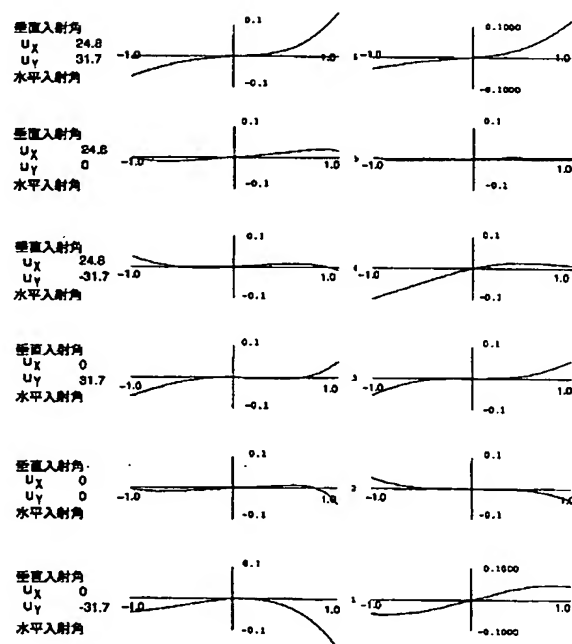
【図19】



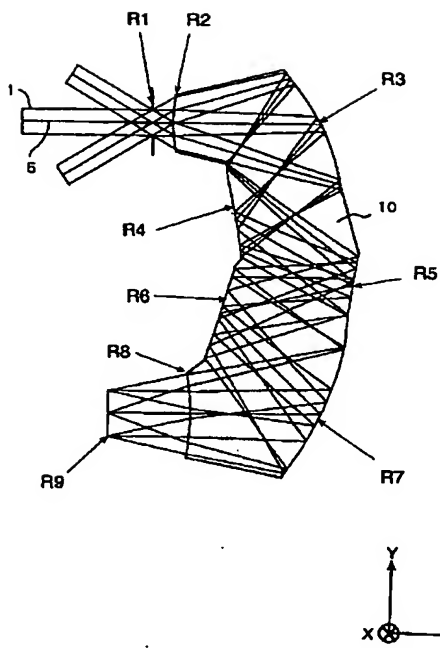
【図20】



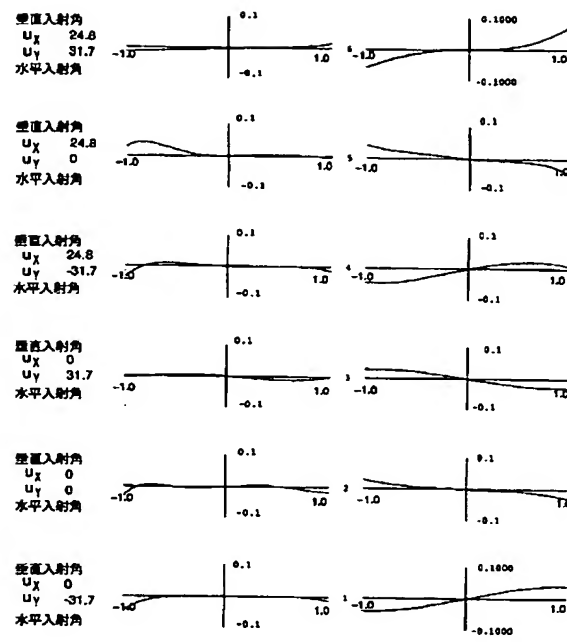
【図21】



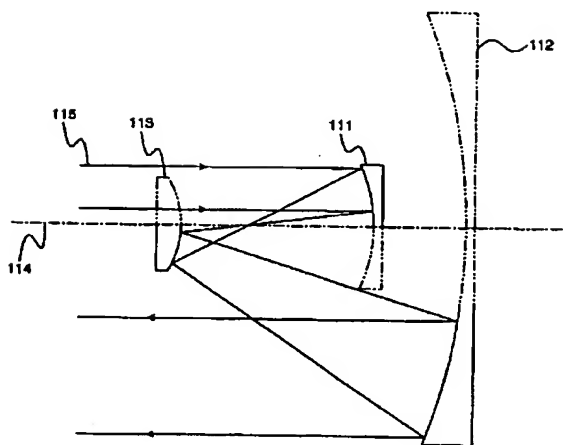
【図22】



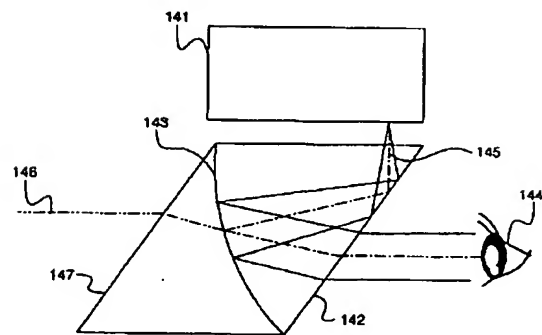
【図23】



【図25】

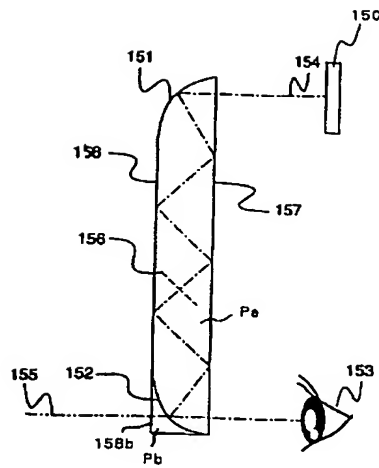


【図27】





【図 2 8】




---

フロントページの続き

(72)発明者 関田 誠  
東京都大田区下丸子 3 丁目 30 番 2 号 キヤ  
ノン株式会社内

(72)発明者 難波 則広  
東京都大田区下丸子 3 丁目 30 番 2 号 キヤ  
ノン株式会社内

(72)発明者 猿渡 浩  
東京都大田区下丸子 3 丁目 30 番 2 号 キヤ  
ノン株式会社内

(72)発明者 秋山 健志  
東京都大田区下丸子 3 丁目 30 番 2 号 キヤ  
ノン株式会社内

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載  
 【部門区分】第6部門第2区分  
 【発行日】平成11年(1999)12月24日

【公開番号】特開平8-292371  
 【公開日】平成8年(1996)11月5日  
 【年通号数】公開特許公報8-2924  
 【出願番号】特願平7-123238  
 【国際特許分類第6版】

G02B 17/00  
 13/18  
 17/08

【F I】

G02B 17/00 A  
 13/18  
 17/08 A

【手続補正書】

【提出日】平成11年5月11日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 透明体の表面に光の入射面と射出面、そして曲面より成る内面反射の反射面を少なくとも3つ設けた光学素子を用いて、又は表面反射鏡より成る少なくとも3つの反射面を設けた光学素子を用いて、物体からの光束を該反射面の少なくとも1つで反射させて該光学素子内で1次結像させた後に、残りの反射面を介して所定面上に物体像を形成する際、該光学素子の中の基準軸の長さの70%以上が1つの平面内にあるように各要素を設定したことを特徴とする反射型の光学系。

【請求項2】 透明体の表面に光の入射面と射出面、そして曲面より成る内面反射の反射面を少なくとも3つ設けた光学素子を用いて、物体からの光束を該入射面で入射させた後に該反射面の少なくとも1つで反射させて該光学素子内で1次結像させた後に、残りの反射面を介して該射出面より射出させて所定面上に物体像を形成することを特徴とする反射型の光学系。

【請求項3】 透明体の表面に光の入射面と射出面、そして曲面より成る内面反射の反射面を少なくとも5つ設けた光学素子を用いて、物体からの光束を該入射面で入射させた後に該反射面の少なくとも1つで反射させて該光学素子内で1次結像させた後に、残りの反射面を介して該射出面より射出させて所定面上に物体像を形成することを特徴とする反射型の光学系。

【請求項4】 前記光学素子の入射面近傍に絞りを設け

たことを特徴とする請求項1、2又は3の反射型の光学系。

【請求項5】 前記光学素子の物体側から数えて第1の曲面の反射面が収斂作用を有することを特徴とする請求項4の反射型の光学系。

【請求項6】 前記第1の曲面の反射面が回転楕円面で構成されていることを特徴とする請求項5の反射型の光学系。

【請求項7】 前記第1の曲面の反射面の形状は、該反射面のローカル座標系xyzを用い、該反射面のベース面の形状を表す係数をa,b,tとして、

$$A = (a+b) \cdot (y^2 \cdot \cos^2 t + x^2)$$

$$B = 2a \cdot b \cdot \cos t [1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (2a \cdot b)\} + \{1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (a \cdot b)\} - \{y^2 / (a \cdot b)\} - \{4a \cdot b \cdot \cos^2 t + (a+b)^2 \sin^2 t\} x^2 / (4a^2 b^2 \cos^2 t)\}^{1/2}]$$

とにおいて

$$z = A/B + C_0 y^2 + C_2 x^2 + C_0 y^4 + C_2 x^2 y + C_0 y^4 + C_2 x^2 y^2 + C_4 x^4$$

と表したとき、

該反射面の基準軸に対する面の傾きを $\theta$ 、基準軸に沿って測った前記絞りの中心と該反射面の距離をdとする時、

$$a \cdot b > 0$$

$$0.9 < t/|\theta| < 1.5$$

$$0.9 < a/d < 2.0$$

$$0.9 < b/d < 2.0$$

を満足することを特徴とする請求項6の反射型の光学系。

【請求項8】 前記反射型の光学系の入射端が前記光学素子の物体側より数えて第1の反射面より物体側に位置するように各要素を設定したことを特徴とする請求項1、2又は3の反射型の光学系。

【請求項9】 前記光学素子は入射する基準軸と射出する基準軸が平行で且つ同方向を向いていることを特徴とする請求項1～8のいずれか1項に記載の反射型の光学系。

【請求項10】 前記光学素子は入射する基準軸と射出する基準軸の方向が平行で且つ反対方向を向いていることを特徴とする請求項1～8のいずれか1項に記載の反射型の光学系。

【請求項11】 前記光学素子は、入射する基準軸と射出する基準軸の方向が直交していることを特徴とする請求項1～8のいずれか1項に記載の反射型の光学系。

【請求項12】 前記光学素子を構成する曲面より成る反射面は対称面を1つだけ有する形状であることを特徴とする請求項1～11のいずれか1項に記載の反射型の光学系。

【請求項13】 前記入射面と射出面は屈折力を有していることを特徴とする請求項1～12のいずれか1項に記載の反射型の光学系。

【請求項14】 前記入射面は正の屈折力を有することを特徴とする請求項1～12のいずれか1項に記載の反射型の光学系。

【請求項15】 前記入射面は負の屈折力を有し、前記射出面は正の屈折力を有していることを特徴とする請求項1～12のいずれか1項に記載の反射型の光学系。

【請求項16】 前記入射面と射出面はいずれも負の屈折力を有していることを特徴とする請求項1～12のいずれか1項に記載の反射型の光学系。

【請求項17】 前記入射面と射出面はいずれも正の屈折力を有していることを特徴とする請求項1～12のいずれか1項に記載の反射型の光学系。

【請求項18】 前記入射面は正の屈折力を有し、前記射出面は負の屈折力を有していることを特徴とする請求項1～12のいずれか1項に記載の反射型の光学系。

【請求項19】 前記入射面と射出面は基準軸に対して回転対称な形状であること事の特徴とする請求項14～18のいずれか1項に記載の反射型の光学系。

【請求項20】 前記光学素子は、射出する基準軸に平行に移動してフォーカシングすることを特徴とする請求項1～19のいずれか1項に記載の反射型の光学系。

【請求項21】 前記光学素子の基準軸はすべて1つの平面上にあることを特徴とする請求項1～20のいずれか1項に記載の反射型の光学系。

【請求項22】 前記光学素子は、基準軸と反射面の交点における該反射面の法線が、該光学素子の基準軸の70%以上が存在する平面に対して傾いている反射面を有していることを特徴とする請求項1～20のいずれか1項に記載の反射型の光学系。

【請求項23】 表面反射の曲面より成る反射面を少なくとも3つ、基準軸が1つの平面上に位置し、且つ互いに対向するように一体的に形成した光学素子を用いて、

物体からの光束を該3つの反射面のうち少なくとも1つで反射させた後に物体像を結像させ、更に残りの反射面で再び該物体像を所定面上に縮小して結像することを特徴とする反射型の光学系。

【請求項24】 前記光学素子の物体側に絞りを設けたことを特徴とする請求項23の反射型の光学系。

【請求項25】 前記光学素子の物体側から数えて第1の曲面の反射面が収斂作用を有することを特徴とする請求項24の反射型の光学系。

【請求項26】 前記第1の曲面の反射面が回転楕円面で構成されていることを特徴とする請求項25の反射型の光学系。

【請求項27】 前記第1の曲面の反射面の形状は、該反射面のローカル座標系  $x, y, z$  を用い、該反射面のベース面の形状を表す係数を  $a, b, t$  として、

$$A = (a+b) \cdot (\sqrt{t} \cdot \cos^2 t + x^2)$$

$$B = 2a \cdot b \cdot \cos t [1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (2a \cdot b)\} + \{1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (a \cdot b)\} - \{y^2 / (a \cdot b)\} - \{4a \cdot b \cdot \cos^2 t + (a+b)^2 \sin^2 t\} x^2 / (4a^2 b^2 \cos^2 t)\}^{1/2}]$$

とにおいて

$$z = A/B + C_0 \cdot y^2 + C_1 \cdot x^2 + C_2 \cdot y^2 + C_3 \cdot x^2 + C_4 \cdot y^4 + C_5 \cdot x^2 y^2 + C_6 \cdot x^4$$

と表したとき、

該反射面の基準軸に対する面の傾きを  $\theta$ 、基準軸に沿って測った前記絞りの中心と該反射面の距離を  $d$  とする時、

$$a \cdot b > 0$$

$$0.9 < t/|\theta| < 1.5$$

$$0.9 < a/d < 2.0$$

$$0.9 < b/d < 2.0$$

を満足することを特徴とする請求項26の反射型の光学系。

【請求項28】 前記反射型の光学系の入射瞳が前記光学素子の物体側より数えて第1の曲面の反射面より物体側に位置するように各要素を設定したことを特徴とする請求項23の反射型の光学系。

【請求項29】 前記光学素子は入射する基準軸と射出する基準軸が平行で且つ同方向を向いていることを特徴とする請求項23～28のいずれか1項に記載の反射型の光学系。

【請求項30】 前記光学素子は入射する基準軸と射出する基準軸の方向が平行で且つ反対方向を向いていることを特徴とする請求項23～28のいずれか1項に記載の反射型の光学系。

【請求項31】 前記光学素子は、入射する基準軸と射出する基準軸の方向が直交していることを特徴とする請求項23～28のいずれか1項に記載の反射型の光学系。

【請求項32】 前記光学素子の物体側及び／又は像側に屈折光学系を設置していることを特徴とする請求項2

3～31のいずれか1項に記載の反射型の光学系。

【請求項33】 前記光学素子を構成する曲面より成る反射面はすべて対称面を1つだけ有する形状であることを特徴とする請求項23～32のいずれか1項に記載の反射型の光学系。

【請求項34】 前記光学素子は、射出する基準軸の方向に平行に移動してフォーカシングすることを特徴とする請求項23～33のいずれか1項に記載の反射型の光学系。

【請求項35】 表面反射鏡より成る少なくとも3つの曲面の反射面と、基準軸と反射面の交点における該反射面の法線が該複数の反射面間の基準軸が存在する平面に対して傾いている反射面とを一体的に形成した光学素子を有し、

物体からの光束が該複数の反射面で反射を繰り返して射出して物体の像を結像する際に、

物体からの光束が該複数の反射面の間で物体像を一旦結像した後に再び物体像を結像することを特徴とする反射型の光学系。

【請求項36】 表面反射鏡より成る少なくとも5つの曲面の反射面と、基準軸と反射面の交点における該反射面の法線が該複数の反射面間の基準軸が存在する平面に対して傾いている反射面とを一体的に形成した光学素子を有し、

物体からの光束が該複数の反射面で反射を繰り返して射出して物体の像を結像する際に、

物体からの光束が該複数の反射面の間で物体像を一旦結像した後に再び物体像を結像することを特徴とする反射型の光学系。

【請求項37】 前記光学素子の物体側に絞りを設けたことを特徴とする請求項36の反射型の光学系。

【請求項38】 前記光学素子の物体側から数えて第1の曲面の反射面が収斂作用を有することを特徴とする請求項37の反射型の光学系。

【請求項39】 前記第1の曲面の反射面が回転楕円面で構成されていることを特徴とする請求項38の反射型の光学系。

【請求項40】 前記第1の曲面の反射面の形状は、該反射面のローカル座標系  $x y z$  を用い、該反射面のベース面の形状を表す係数を  $a, b, t$  として、

$$A = (a+b) \cdot (y^2 \cdot \cos^2 t + x^2)$$

$$B = 2a \cdot b \cdot \cos t [1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (2a \cdot b)\} + \{1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (a \cdot b)\} - \{y^2 / (a \cdot b)\} - \{4a \cdot b \cdot \cos^2 t + (a+b)^2 \sin^2 t\} x^2 / (4a^2 b^2 \cos^2 t)\}^{1/2}]$$

とにおいて

$$z = A/B + C_0 \cdot y^2 + C_1 \cdot x^2 + C_2 \cdot y^2 + C_3 \cdot x^2 + C_4 \cdot y^4 + C_5 \cdot x^4 + C_6 \cdot x^2 y^2 + C_7 \cdot x^4 y^2 + C_8 \cdot x^2 y^4 + C_9 \cdot x^4 y^4$$

と表したとき、

該反射面の基準軸に対する面の傾きを  $\theta$ 、基準軸に沿って測った前記絞りの中心と該反射面の距離を  $d$  とする

時、

$$a \cdot b > 0$$

$$0.9 < t/|\theta| < 1.5$$

$$0.9 < a/d < 2.0$$

$$0.9 < b/d < 2.0$$

を満足することを特徴とする請求項39の反射型の光学系。

【請求項41】 前記反射型の光学系の入射瞳が前記光学素子の物体側より数えて第1の曲面の反射面より物体側に位置するように各要素を設定したことを特徴とする請求項36の反射型の光学系。

【請求項42】 前記光学素子は、入射する基準軸と射出する基準軸の方向が直交していることを特徴とする請求項36～41のいずれか1項に記載の反射型の光学系。

【請求項43】 前記光学素子を構成する曲面より成る反射面はすべて対称面を1つだけ有する形状であることを特徴とする請求項36～41のいずれか1項に記載の反射型の光学系。

【請求項44】 請求項1～43のいずれか1項に記載の反射型の光学系を有し、撮像媒体の撮像面上に前記物体の像を結像することを特徴とする撮像装置。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0033

【補正方法】変更

【補正内容】

【0033】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明の反射型の光学系は、透明体の表面に光の入射面と射出面、そして曲面より成る内面反射の反射面を少なくとも3つ設けた光学素子を用いて、又は表面反射鏡より成る少なくとも3つの反射面を設けた光学素子を用いて、物体からの光束を該反射面の少なくとも1つで反射させて該光学素子内で1次結像させた後に、残りの反射面を介して所定面上に物体像を形成する際、該光学素子の中の基準軸の長さの70%以上が1つの平面内にあるように各要素を設定したことを特徴としている。請求項2の発明の反射型の光学系は、透明体の表面に光の入射面と射出面、そして曲面より成る内面反射の反射面を少なくとも3つ設けた光学素子を用いて、物体からの光束を該入射面で入射させた後に該反射面の少なくとも1つで反射させて該光学素子内で1次結像させた後に、残りの反射面を介して該射出面より射出させて所定面上に物体像を形成することを特徴としている。請求項3の発明の反射型の光学系は、透明体の表面に光の入射面と射出面、そして曲面より成る内面反射の反射面を少なくとも5つ設けた光学素子を用いて、物体からの光束を該入射面で入射させた後に該反射面の少なくとも1つで反射させて該光学素子

内で1次結像させた後に、残りの反射面を介して該射出面より射出させて所定面上に物体像を形成することを特徴としている。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0034

【補正方法】変更

【補正内容】

【0034】請求項4の発明は請求項1、2又は3の発明において、前記光学素子の入射面近傍に絞りを設けたことを特徴としている。請求項5の発明は請求項4の発明において、前記光学素子の物体側から数えて第1の曲面の反射面が収斂作用を有することを特徴としている。請求項6の発明は請求項5の発明において、前記第1の曲面の反射面が回転楕円面で構成されていることを特徴としている。請求項7の発明は請求項6の発明において、前記第1の曲面の反射面の形状は、該反射面のローカル座標系xyzを用い、該反射面のベース面の形状を表す係数をa,b,tとして、

$$A = (a+b) \cdot (y^2 \cdot \cos^2 t + x^2)$$

$$B = 2a \cdot b \cdot \cos t [1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (2a \cdot b)\} + \{1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (a \cdot b)\} - \{y^2 / (a \cdot b)\} - \{4a \cdot b \cdot \cos^2 t + (a+b)^2 \sin^2 t\} x^2 / (4a^2 b^2 \cos^2 t)\}^{1/2}]$$

とにおいて

$$z = A/B + C_0 \cdot y^2 + C_1 \cdot x^2 + C_2 \cdot y^4 + C_3 \cdot x^4 + C_4 \cdot x^2 y^2 + C_5 \cdot y^6 + C_6 \cdot x^6 + C_7 \cdot x^4 y^2 + C_8 \cdot x^2 y^4 + C_9 \cdot x^6$$

と表したとき、該反射面の基準軸に対する面の傾きを $\theta$ 、基準軸に沿って測った前記絞りの中心と該反射面の距離をdとする時、

$$a \cdot b > 0$$

$$0.9 < t/|\theta| < 1.5$$

$$0.9 < a/d < 2.0$$

$$0.9 < b/d < 2.0$$

を満足することを特徴としている。請求項8の発明は請求項1、2又は3の発明において、前記反射型の光学系の入射面が前記光学素子の物体側より数えて第1の反射面より物体側に位置するように各要素を設定したことを特徴としている。請求項9の発明は請求項1から8のいずれか1項の発明において、前記光学素子は入射する基準軸と射出する基準軸が平行で且つ同方向を向いていることを特徴としている。請求項10の発明は請求項1から8のいずれか1項の発明において、前記光学素子は入射する基準軸と射出する基準軸の方向が平行で且つ反対方向を向いていることを特徴としている。請求項11の発明は請求項1から8のいずれか1項の発明において、前記光学素子は、入射する基準軸と射出する基準軸の方向が直交していることを特徴としている。請求項12の発明は請求項1から11のいずれか1項の発明において、前記光学素子を構成する曲面より成る反射面は対称面を1つだけ有する形状であることを特徴としている。

請求項13の発明は請求項1から12のいずれか1項の発明において、前記入射面と射出面は屈折力を有していることを特徴としている。請求項14の発明は請求項1から12のいずれか1項の発明において、前記入射面は正の屈折力を有することを特徴としている。請求項15の発明は請求項1から12のいずれか1項の発明において、前記入射面は負の屈折力を有し、前記射出面は正の屈折力を有していることを特徴としている。請求項16の発明は請求項1から12のいずれか1項の発明において、前記入射面と射出面はいずれも負の屈折力を有していることを特徴としている。請求項17の発明は請求項1から12のいずれか1項の発明において、前記入射面と射出面はいずれも正の屈折力を有していることを特徴としている。請求項18の発明は請求項1から12のいずれか1項の発明において、前記入射面は正の屈折力を有し、前記射出面は負の屈折力を有していることを特徴としている。請求項19の発明は請求項14から18のいずれか1項の発明において、前記入射面と射出面は基準軸に対して回転対称な形状であることを特徴としている。請求項20の発明は請求項1から19のいずれか1項の発明において、前記光学素子は、射出する基準軸に平行に移動してフォーカシングすることを特徴としている。請求項21の発明は請求項1から20のいずれか1項の発明において、前記光学素子の基準軸はすべて1つの平面上にあることを特徴としている。請求項22の発明は請求項1から20のいずれか1項の発明において、前記光学素子は、基準軸と反射面の交点における該反射面の法線が、該光学素子の基準軸の70%以上が存在する平面に対して傾いている反射面を有していることを特徴としている。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0035

【補正方法】変更

【補正内容】

【0035】請求項23の発明の反射型の光学系は、表面反射の曲面より成る反射面を少なくとも3つ、基準軸が1つの平面上に位置し、且つ互いに対向するように一体的に形成した光学素子を用いて、物体からの光束を該3つの反射面のうち少なくとも1つで反射させた後に物体像を結像させ、更に残りの反射面で再び該物体像を所定面上に縮小して結像することを特徴としている。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0036

【補正方法】変更

【補正内容】

【0036】請求項24の発明は請求項23の発明において、前記光学素子の物体側に絞りを設けたことを特徴としている。請求項25の発明は請求項24の発明にお

いて、前記光学素子の物体側から数えて第1の曲面の反射面が収斂作用を有することを特徴としている。請求項26の発明は請求項25の発明において、前記第1の曲面の反射面が回転楕円面で構成されていることを特徴としている。請求項27の発明は請求項26の発明において、前記第1の曲面の反射面の形状は、該反射面のローカル座標系  $x y z$  を用い、該反射面のベース面の形状を表す係数を  $a, b, t$  として、

$$A = (a+b) \cdot (\sqrt{t} \cdot \cos^2 t + x^2)$$

$$B = 2a \cdot b \cdot \cos t [1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (2a \cdot b)\} + \{1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (a \cdot b)\} - \{y^2 / (a \cdot b)\} - \{4a \cdot b \cdot \cos^2 t + (a+b)^2 \sin^2 t\} x^2 / (4a^2 b^2 \cos^2 t)\}^{1/2}]$$

とにおいて

$$z = A/B + C_0 \cdot y^2 + C_1 \cdot x^2 + C_2 \cdot y^2 + C_3 \cdot x^2 y + C_4 \cdot y^4 + C_5 \cdot x^2 y^2 + C_6 \cdot x^4$$

と表したとき、該反射面の基準軸に対する面の傾きを  $\theta$ 、基準軸に沿って測った前記絞りの中心と該反射面の距離を  $d$  とする時、

$$a \cdot b > 0$$

$$0.9 < t/|\theta| < 1.5$$

$$0.9 < a/d < 2.0$$

$$0.9 < b/d < 2.0$$

を満足することを特徴としている。請求項28の発明は請求項23の発明において、前記反射型の光学系の入射瞳が前記光学素子の物体側より数えて第1の曲面の反射面より物体側に位置するように各要素を設定したことを特徴としている。請求項29の発明は請求項23から28のいずれか1項の発明において、前記光学素子は入射する基準軸と射出する基準軸が平行で且つ同方向を向いていることを特徴としている。請求項30の発明は請求項23から28のいずれか1項の発明において、前記光学素子は入射する基準軸と射出する基準軸の方向が平行で且つ反対方向を向いていることを特徴としている。請求項31の発明は請求項23から28のいずれか1項の発明において、前記光学素子は、入射する基準軸と射出する基準軸の方向が直交していることを特徴としている。請求項32の発明は請求項23から31のいずれか1項の発明において、前記光学素子の物体側及び又は像側に屈折光学系を設置していることを特徴としている。請求項33の発明は請求項23から32のいずれか1項の発明において、前記光学素子を構成する曲面より成る反射面はすべて対称面を1つだけ有する形状であることを特徴としている。請求項34の発明は請求項23から33のいずれか1項の発明において、前記光学素子は、射出する基準軸の方向に平行に移動してフォーカシングすることを特徴としている。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0037

【補正方法】変更

【補正内容】

【0037】請求項35の発明の反射光学系は、表面反射鏡より成る少なくとも3つの曲面の反射面と、基準軸と反射面の交点における該反射面の法線が該複数の反射面間の基準軸が存在する平面に対して傾いている反射面とを一体的に形成した光学素子を有し、物体からの光束が該複数の反射面で反射を繰り返して射出して物体の像を結像する際に、物体からの光束が該複数の反射面の間で物体像を一旦結像した後に再び物体像を結像することを特徴としている。請求項36の発明の反射光学系は、表面反射鏡より成る少なくとも5つの曲面の反射面と、基準軸と反射面の交点における該反射面の法線が該複数の反射面間の基準軸が存在する平面に対して傾いている反射面とを一体的に形成した光学素子を有し、物体からの光束が該複数の反射面で反射を繰り返して射出して物体の像を結像する際に、物体からの光束が該複数の反射面の間で物体像を一旦結像した後に再び物体像を結像することを特徴としている。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0038

【補正方法】変更

【補正内容】

【0038】請求項37の発明は請求項36の発明において、前記光学素子の物体側に絞りを設けたことを特徴としている。請求項38の発明は請求項37の発明において、前記光学素子の物体側から数えて第1の曲面の反射面が収斂作用を有することを特徴としている。請求項39の発明は請求項38の発明において、前記第1の曲面の反射面が回転楕円面で構成されていることを特徴としている。請求項40の発明は請求項39の発明において、前記第1の曲面の反射面の形状は、該反射面のローカル座標系  $x y z$  を用い、該反射面のベース面の形状を表す係数を  $a, b, t$  として、

$$A = (a+b) \cdot (\sqrt{t} \cdot \cos^2 t + x^2)$$

$$B = 2a \cdot b \cdot \cos t [1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (2a \cdot b)\} + \{1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (a \cdot b)\} - \{y^2 / (a \cdot b)\} - \{4a \cdot b \cdot \cos^2 t + (a+b)^2 \sin^2 t\} x^2 / (4a^2 b^2 \cos^2 t)\}^{1/2}]$$

とにおいて

$$z = A/B + C_0 \cdot y^2 + C_1 \cdot x^2 + C_2 \cdot y^2 + C_3 \cdot x^2 y + C_4 \cdot y^4 + C_5 \cdot x^2 y^2 + C_6 \cdot x^4$$

と表したとき、該反射面の基準軸に対する面の傾きを  $\theta$ 、基準軸に沿って測った前記絞りの中心と該反射面の距離を  $d$  とする時、

$$a \cdot b > 0$$

$$0.9 < t/|\theta| < 1.5$$

$$0.9 < a/d < 2.0$$

$$0.9 < b/d < 2.0$$

を満足することを特徴としている。請求項41の発明は請求項36の発明において、前記反射型の光学系の入射

瞳が前記光学素子の物体側より数えて第1の曲面の反射面より物体側に位置するように各要素を設定したことを特徴としている。請求項42の発明は請求項36から41のいずれか1項の発明において、前記光学素子は、入射する基準軸と射出する基準軸の方向が直交していることを特徴としている。請求項43の発明は請求項36から41のいずれか1項の発明において、前記光学素子を構成する曲面より成る反射面はすべて対称面を1つだけ有する形状であることを特徴としている。

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0039

【補正方法】変更

【補正内容】

【0039】請求項44の発明の撮像装置は請求項1から43のいずれか1項の反射型の光学系を有し、撮像媒体の撮像面上に前記物体の像を結像することを特徴としている。

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0056

【補正方法】変更

【補正内容】

【0056】

【数1】

$$z = \frac{(x^2 + y^2)/R_1}{1 + \{(x^2 + y^2)/R_1^2\}^{1/2}}$$

また、本発明の光学系は少なくとも回転非対称な非球面を一面以上有し、その形状は以下の式により表す（但し、 $a, b, t$  は形状に関する係数である）：

$$A = (a+b) \cdot (\sqrt{t} \cdot \cos^2 t + x^2)$$

$$B = 2a \cdot b \cdot \cos t \{1 + \{(b-a) \cdot \sqrt{t} \cdot \sin t / (2a \cdot b)\} + [1 + \{(b-a) \cdot \sqrt{t} \cdot \sin t / (a \cdot b)\} - \{y^2 / (a \cdot b)\} - \{4a \cdot b \cdot \cos^2 t + (a+b)^2 \sin^2 t\} x^2 / (4a^2 b^2 \cos^2 t)]^{1/2}\}$$

として

$$z = A/B + C_0 \cdot y^2 + C_1 \cdot x^2 + C_2 \cdot y^4 + C_3 \cdot x^4 + C_4 \cdot x^2 y^2 + C_5 \cdot x^4 y^2 + C_6 \cdot x^2 y^4 + C_7 \cdot x^6 + C_8 \cdot x^4 y^2 + C_9 \cdot x^2 y^4 + C_{10} \cdot y^6$$

上記曲面式は $x$ に関して偶数次の項のみであるため、上記曲面式により規定される曲面は $yz$ 面を対称面とする面対称な形状である。さらに以下の条件が満たされる場合は $xz$ 面に対して面対称な形状を表す。従って以下の条件が満たされない場合は、 $xz$ 面に対して面対称な形状とはならず、対称面は $yz$ 面の1面のみとなり、2面以上にはならない。

【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0195

【補正方法】変更

【補正内容】

【0195】この他本発明によれば、

(ア-1) 絞りが光学素子の前側にある若しくは入射瞳が光学素子の物体側より数えて第1の反射面より物体側にある本発明の実施例の場合、とくに光学素子の第1反射面に収斂作用を与えていることが光学系の小型化に寄与している。これは瞳光線（主光線）を入射面に近い段階で中間結像させて光学系をさらに薄型にするため、絞り $R1$ を出た軸外主光線が大きく拡がらない内に収斂させ、光学系の広角化による第1反射面 $R3$ 以降の各面有効径の大型化を抑えているのである。

(ア-2) 第1反射面を該反射面からみた見かけの絞り中心（該反射面に対する入射瞳位置）と光学系内部の屈曲した基準軸上にある点とを2つの焦点とする回転楕円面とすれば、軸外主光線をほぼ無収差で内部結像させることができ、これによって光学素子の薄型化が図れるとともに軸外の収差の増大を初期段階で抑えている。

(ア-3) 本発明の実施例においては、光学素子の入射面および射出面に屈折力を与えると格別の効果が発生する。例えば入射面を軸外主光線についてコンセントリックな凹面にすることで軸外諸収差の発生を低減できる。又、射出面を凸面で構成すれば、これによりバックフォーカスが長くなりすぎるのを防止できる。一方、もし入射面を凸面にすると、軸外光線がこの面で収束するので、第一反射面の有効径が大きくなるのを防止できる。

(ア-4) また、射出面の形状は、この面への軸外主光線（瞳光線）をその入射角に応じて射出側（像側）で略平行、つまりテレセントリックにするように決めても良い。これは、CCDなどの撮像素子を用いた場合には、CCDのカラーフィルターとその撮像面とにギャップがあるため、撮像素子に対する入射角によって色分離性能が変化するのを防止するのに有効である。光学系を像側にテレセントリックにすれば、軸上・軸外光束の主光線はともに光軸に略平行となり、CCDへの入射角は全受光面にわたって略一定となるからである。

(ア-5) さらに、本発明の実施例においては反射面の殆どが対称面を1つだけ有する面であるのに対して入射面の形状は基準軸に対して回転対称な形状である。これによって光学系を製作・評価する場合に基準軸を正確に測定できる。また、屈折面を回転対称とすることで非対称な色収差の発生を低減させることができる。

(ア-6) 図28に示す従来の光学系では、入射側と射出側の反射面は屈折力を有してはいるが、その間の反射は単に光束を導くいわゆるライトガイドの役割しか果たしていない。本発明の実施例においては、屈折力を持った少なくとも3つの反射面を一体に形成する事で、光軸を折り曲げる機能と2次元像面に対する収差補正の機能を合わせ持つ、コンパクトで自由な形状が達成できる性能の良い撮影光学系が得られる。

(ア-7) 本発明の実施例においては、物体光線と瞳光線とがそれぞれ中間結像している。そして従来の撮影光学系に比べて光学素子の入射面に近い段階で夫々の光線を中間結像させることにより、絞りより像側における各面の有効径の大きさを抑制し、光学系の断面の大きさを小さくすることに成功している。

(ア-8) さらに、本発明の実施例においては光学素子内部で屈曲している基準軸は同一平面内、即ちYZ面内に含まれている。これによって、物体光線・瞳光線の素子内部での中間結像とあいまって紙面に垂直な方向(X方向)の大きさを小さくしている。

(ア-9) 光学素子を構成する各反射面は、入出射する基準軸と反射面との交点における法線が、基準軸の方向と一致しない所謂偏心反射面である。これは従来のミラー光学系において発生するケラレを防止するとともに、これによってより自由な配置をとることができ、スペース効率がよく、コンパクトで自由な形状の光学素子を構成することができる。

(ア-10) さらに各反射面の形状は直交する二つの面(yz面、xz面)内で曲率半径が異なる面である。これは各反射面を偏心配置した事によって生じる偏心収差を押さえるためであるが、さらにこの反射面を非対称な面とする事により、諸収差を良好に補正し所望の光学性能を達成している。

(ア-11) 本発明では、内部がガラス等の透明体で充填された光学素子で形成することによりモールド成型が可能となり、量産性や低コスト化を達成できる。一方、実施例として中空のブロックの内部に表面鏡を形成

した光学素子を使用すれば、光学系の軽量化や色収差の低減を達成できる。

(ア-12) 本発明では絞りを光学素子の入射面の直前に配置している若しくは入射瞳が光学素子の物体側より数えて第1の反射面より物体側にある。従来の撮影光学系の場合、絞りを光学系の内部に配置し、しかも入射瞳が光学系の奥深くにある場合が多く、絞りから見て最も物体側に位置する入射面までの間隔が大きいくほど、入射面の光線有効径は画角の拡大に伴って大きくなってしまいう問題点があった。本実施例においては、絞り若しくは入射瞳を光学素子の物体側(光学系の光束入射側)に配置することにより、光学系を広角化した時に生じる撮影光学系の大変形を抑えている。

(ア-13) 光学系に入射する基準軸の方向と射出する基準軸の方向を平行にすると、光学系全体を入出射基準軸に平行に移動させることにより従来のレンズ系と同様にフォーカシング動作を行うことができ、しかもその時の撮影範囲の変化が生じない。

(ア-14) 反射光学系の特徴として、各面の配置を組み合わせることで入射する基準軸と射出する基準軸の方向をさまざまに変化させることができる。即ち、本発明によれば入射基準軸の向きと射出基準軸の向きの異なるさまざまな光学素子を構成できるので、撮影光学系を組み込むカメラ等の形態に合わせた自由度の高いレイアウトをとることが可能となる。等の少なくとも1つの効果を有した光学系及びそれを用いた撮像装置を達成することができる。